



## Klimapåvirkning fra 60 bygninger

*Muligheder for udformning af referenceværdier til LCA for bygninger*

Zimmermann, Regitze Kjær; Andersen, Camilla Marlene Ernst; Kanafani, Kai; Birgisdottir, Harpa

*Creative Commons License*  
Ikke-specificeret

*Publication date:*  
2020

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Zimmermann, R. K., Andersen, C. M. E., Kanafani, K., & Birgisdottir, H. (2020). *Klimapåvirkning fra 60 bygninger: Muligheder for udformning af referenceværdier til LCA for bygninger*. Polyteknisk Boghandel og Forlag. Forskning i det byggede miljø, SBI Bind 2020:04 <https://sbi.dk/Pages/Klimapaavirkning-fra-60-bygninger.aspx>

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# SBI 2020:04

## Klimapåvirkning fra 60 bygninger

Muligheder for udformning af referenceværdier  
til LCA for bygninger





# **KLIMAPÅVIRKNING FRA 60 BYGNINGER**

**MULIGHEDER FOR UDFORMNING AF  
REFERENCEVÆRDIER TIL LCA FOR BYGNINGER**

Regitze Kjær Zimmermann, Camilla Ernst Andersen, Kai Kanafani & Harpa Birgisdóttir

Forskning i det byggede miljø, SBi 2020:04  
Polyteknisk Boghandel og Forlag ApS  
2020

<b>TITEL</b>	Klimapåvirkning fra 60 bygninger
<b>UNDERTITEL</b>	Muligheder for udformning af referenceværdier til LCA for bygninger
<b>SERIETITEL</b>	SBi 2020:04
<b>UDGIVELSEÅR</b>	2020
<b>FORFATTER</b>	Regitze Kjær Zimmermann, Camilla Ernst Andersen, Kai Kanafani & Harpa Birgisdóttir
<b>FAGFÆLLEBEDØMMER</b>	Morten Birkved
<b>SIDETAL</b>	96
<b>LITTERATURHENVISNINGER</b>	Side 65-66
<b>EMNEORD</b>	Bæredygtighed, livscyklusvurdering, LCA, byggeproces, energiforbrug, referenceværdi, klimapåvirkning
<b>ISBN</b>	978-87-93585-21-8
<b>OMSLAGSILLUSTRATION</b>	Michael Ulf Bech
<b>UDGIVER</b>	Polyteknisk Boghandel og Forlag ApS Anker Engelunds Vej 1 2800 Kongens Lyngby

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.



FAGFÆLLE-  
BEDØMT

# FORORD

Bæredygtighed er et stadig mere centralt begreb i diskussionen om kvalitetssikring af byggeriet. Bæredygtighed indenfor byggeri omhandler bygningens miljømæssige, økonomiske og sociale kvalitet og ses derfor som et supplement til et byggeris traditionelle kvaliteter.

Der er stort fokus på at finde løsninger til hvorledes samfundets klimaaftryk kan reduceres. Dette gælder også for bygninger og byggesektoren som helhed. I byggesektoren er der i en årrække anvendt livscyklusvurdering (LCA) til at dokumentere bygningers miljøbelastning. For at udføre en LCA på bygninger er der behov for god dokumentation af alle de anvendte materials miljøbelastning. Udover at dokumentere materialernes miljøbelastning, leder vi efter forskellige holdbare løsninger til, hvorledes bygningers miljøbelastning og ressourcetræk kan minimeres.

Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen (TBST) har bedt Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) om at udføre en række projekter som led i et øget fokus på bl.a. den miljømæssige bæredygtighed, herunder udviklingen af LCAbyg, som er et dansk LCA-værktøj for byggeri, som blev lanceret i 2015. Efter en årrække med kompetenceopbygning og erfaringsopsamling indenfor LCA, er det muligt nu at tage det næste skridt og undersøge, hvordan bygningers miljøbelastning kan reduceres. Det kan gøres ved at etablere viden om bygningers miljøbelastning og udvikle referenceværdier til LCA for bygninger, som kan bruges til fx lovgivning, fælles branchevejledning, DGNB-certificering eller udbudsmateriale.

Formålet med denne rapport er at skabe et større vidensgrundlag om bygningers klimabelastning, som kan benyttes til udvikling af referenceværdier for bygninger.

Rapporten er udarbejdet af SBI i 2019 for TBST. Rapporten er udarbejdet af Regitze Kjær Zimmermann, Camilla Ernst Andersen, Harpa Birgisdottir og Kai Kanafani. Manuskriptet er inden publicering blevet fagfællebedømt af Professor mso Morten Birkved fra Syddansk Universitet, hvem BUILD takker for et konstruktivt samarbejde.

BUILD – Institut for Byggeri, By og Miljø (tidl. SBI), Aalborg Universitet København  
Afdelingen for Energieffektivitet, Indeklima og Bæredygtighed  
Marts 2020

*Søren Aggerholm*  
Forskningschef

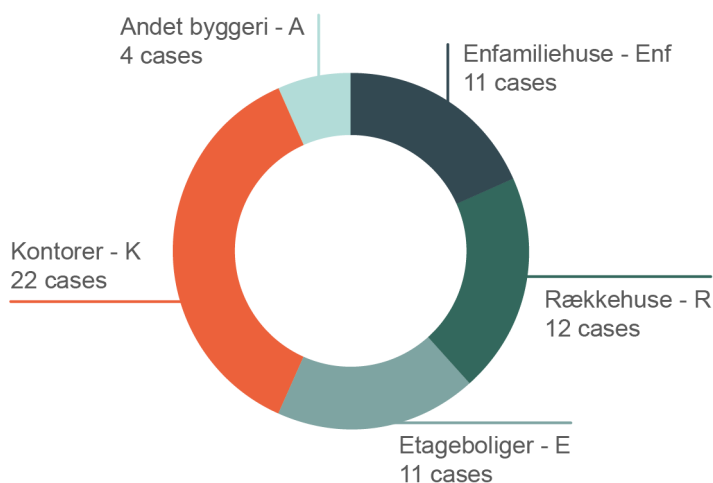


# SAMMENFATNING

Globalt bidrager byggeriet med omkring 39% af de samlede klimapåvirkninger, hvor cirka 28% stammer fra driftsenergiforbrug til den samlede bygningsmasse og cirka 11% stammer fra forbrug af materialer til nybyggeri og renovering af eksisterende byggeri (World Green Building Council, 2019). Klimapåvirkninger og andre miljøpåvirkninger fra både driftsenergiforbrug og fra byggematerialer kan bestemmes og reduceres ved hjælp af livscyklusvurderinger (LCA).

I Danmark har Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen (TBST) sammen med Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) udviklet et værktøj til at lave LCA på bygninger, LCAbyg, samt udgivet en række danske publikationer om LCA for bygninger. I praksis har LCA bl.a. været brugt i certificeringsordningen DGNB for bygninger siden 2012. Data fra alle disse LCA'er er ikke tidligere blevet opsamlet og beregnet efter en ensartet metode. Der mangler derfor stadig en bred forståelse af det nuværende niveau af bygningers miljøpåvirkninger. Dertil kommer, at DGNB endnu ikke omfatter enfamiliehuse, som har en væsentlig andel af byggeaktiviteterne i Danmark.

Nærværende rapport præsenterer LCA'er af 60 bygnings-cases opført i perioden fra 2013 til 2021. Case-bygningerne stammer fra DGNB-certificerede projekter, eksterne projekter samt livscyklusvurderinger udført af SBI. Casene er opdelt i fem bygningstyper med hovedfokus på boliger og kontorer, se figur 1. I indsamlingen af case-bygningerne er det forsøgt at inkludere et bredt udvalg af cases med forskellige kvaliteter i henhold til bygningstyper, energiklasser, materialer, solcelleareal m.m. På denne måde tages der højde for forskelle mellem bygninger, således at datagrundlaget for referenceværdierne bliver så repræsentativt som muligt.



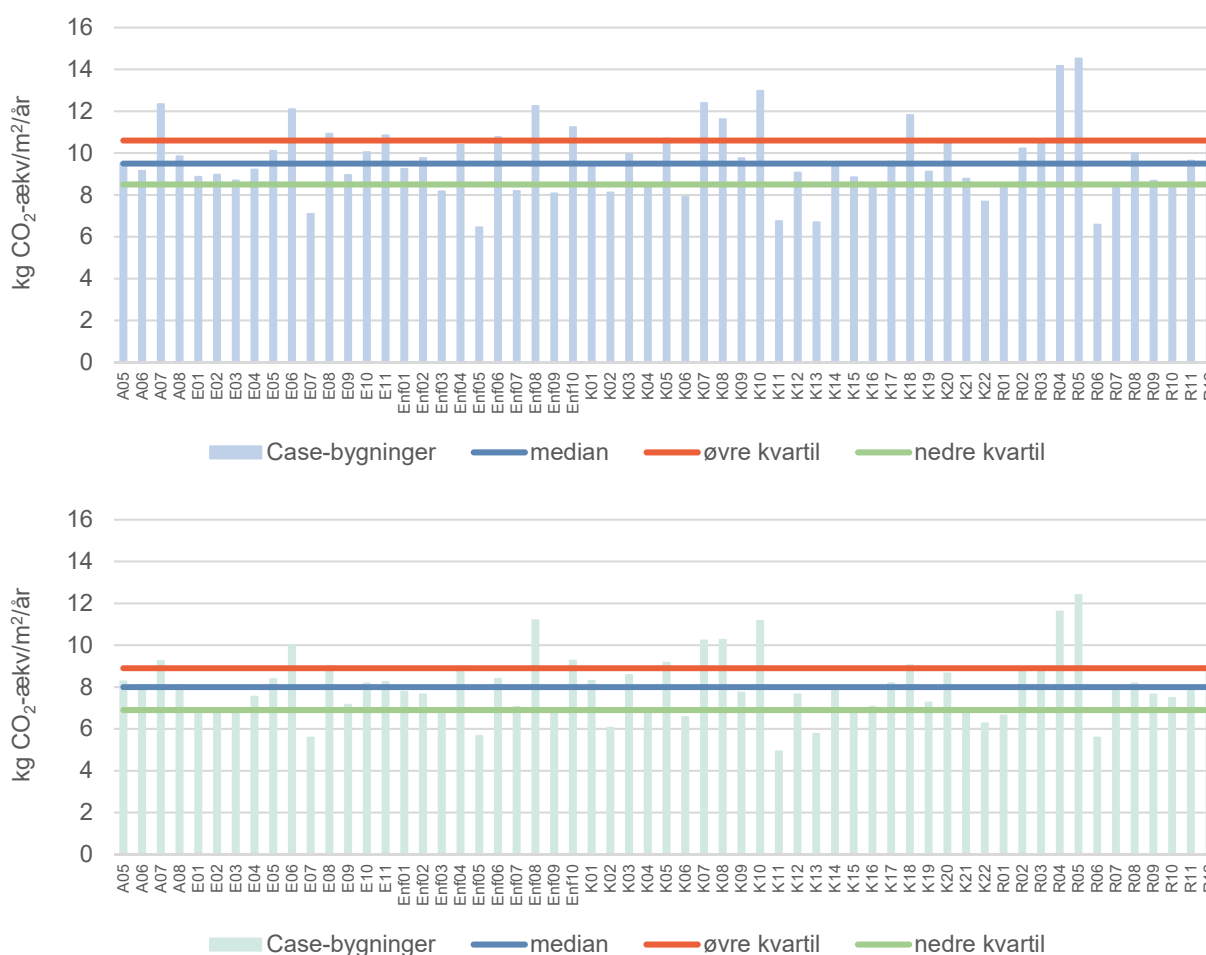
**FIGUR 1.** Antal cases fordelt på bygningstyper. Tilsammen er der 60 cases, hvoraf 34 er boliger og 26 er kontorer og andet byggeri – herunder skole, hospital og multifunktionsbygninger.

Livscyklusperspektivet fra LCA'en indebærer, at der både medregnes påvirkningerne, som sker her og nu, dvs. produktion af byggematerialer, samt påvirkninger, som antages at ske



på baggrund af et fremtidsscenarie relateret til udskiftninger, driftsenergi og nedrivning. Beregningerne er lavet i LCAbyg med den dertilhørende beregningsmetode og miljødatabase. Resultaterne af LCA'erne på alle case-bygningerne kan ses som søjlerne i figur 2 for henholdsvis en 50-års og 80-års betragtningsperiode. Det er mest udbredt at bruge 50 år som betragtningsperiode og i tråd med den europæiske ordning Level(s). I resultaterne fremgår det, at der er en stor variation i bygningers påvirkninger, da nogle bygninger har op til 2,25 gange større påvirkninger end andre ved en 50-års betragtningsperiode og op til 2,5 gange større påvirkninger end andre ved en 80-års betragtningsperiode.

Bygningens påvirkninger kan fordeles på påvirkninger fra materialer og påvirkninger fra drift. Påvirkningerne fra bygningens materialer er cirka 2-4 gange højere end påvirkningerne fra driften for både en 50-års og en 80-års betragtningsperiode. Desuden er der et stort spænd i påvirkninger fra materialerne alene, som varierer fra 3,7 til 10,8 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år ved 50 år og 3,11 til 9,50 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år ved 80 år. Det samme gælder for påvirkninger fra driftsenergiforbruget, som varierer fra 0,22 til 4,58 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år ved 50 år og 0,17 til 4,30 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år ved 80 år. Resultater viser også, at der ikke er en stor forskel i påvirkninger for forskellige bygningstypers klimapåvirkning, hverken i påvirkninger for driftsenergi eller materialer. Medianværdien for materialernes klimabelastning for enfamiliehuse, rækkehuse, etageboligbyggeri og kontorer ligger på hhv. (7,4) (7,1) (7,0) og (6,9) kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år ved en 50-års betragtningsperiode.



**FIGUR 2.** Case-bygningers klimapåvirkning og referenceværdier. Klimapåvirkning (GWP) vises per kvadratmeter etageareal og år over en 50-års betragtningsperiode (øverst) og en 80-års betragtningsperiode (nederst).

LCA-resultaterne kan bruges til at skabe et fælles grundlag for bygningers miljømæssige performance i form af referenceværdier. En fælles reference kan danne grundlag for udbudskrav, offentlig regulering eller andre former for benchmarking, som allerede eksisterer for bygningers energibehov, indeklima eller andre funktionsområder, men mangler for den livscyklusbaserede miljøpåvirkning i Danmark. Arbejdet med udarbejdelse af LCA kan lettes ved at lave en overslags-LCA. I Bilag III er det illustreret, hvordan LCAByg's funktionerne til overslags-LCA kan bruges til at give en konservativ estimering af bygningers miljøpåvirkninger.

For at bestemme referenceværdierne på baggrund af de 60 case-bygninger, indgår resultaterne af LCA'erne i en statistisk analyse. Referenceværdien er derefter angivet som median, øvre og nedre kvartil for hhv. en 50-års og 80-års betragtningsperiode, som hver for sig er et bud på et muligt ambitionsniveau. Median og kvartiler er vist som vandrette linjer i figur 2. Medianværdien for den 50-års betragtningsperiode ligger på 9,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år, mens den nedre kvartil ligger på 8,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år. Derimod ligger medianværdien for den 80-års betragtningsperiode på 8,0 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år, mens den nedre kvartil ligger på 6,9 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år.

Figuren viser også, at flere bygninger lykkes med at ligge betydeligt under den nedre kvartil ved både en 50-års og 80-års betragtningsperiode. Disse bygninger med påvirkninger mindre en den nedre kvartil kan derfor også indgå som pejlemærker for fremtidens byggeri. Resultater for de enkelte case-bygninger kan findes i Bilag IV.

Referenceværdierne i nærværende rapport svarer til en "bottom-up" tilgang, som tager udgangspunkt i det eksisterende byggeris performance. De 60 cases, som bruges til dette, er det største antal bygnings-LCA'er, der til dato er indsamlet i Danmark. Ydermere er de samlet i det samme beregningsværktøj, LCAByg, og er derfor baseret på ens miljødata og ens metode til beregningen. Variation i bygningstype, materialer mv. betyder også, at datagrundlaget repræsenterer et bredt udvalg af byggeri i Danmark. Denne basis giver en tilstrækkelig baggrund for udarbejdelse af referenceværdier til frivillige ordninger. Referenceværdierne bør opdateres i takt med, at flere bygnings-LCA'er bliver tilgængelige.

# INDHOLD

<b>FORORD</b>	<b>5</b>
<b>SAMMENFATNING</b>	<b>7</b>
<b>1 INDLEDNING</b>	<b>13</b>
1.1 Baggrund	13
1.2 Formål	14
1.3 Læsevejledning	14
<b>2 LCA FOR BYGNINGER</b>	<b>17</b>
<b>3 BEREGNINGSGRUNDLAG</b>	<b>19</b>
3.1 60 case-bygninger	19
3.2 Metodebeskrivelse for LCA	23
<b>4 RESULTATER FRA LCA VED 50 ÅRS BETRAGTNINGSPERIODE</b>	<b>29</b>
4.1 Resultater fra LCA af case-bygninger	29
<b>5 RESULTATER FRA LCA VED 80 ÅRS BETRAGTNINGSPERIODE</b>	<b>37</b>
5.1 Resultater fra LCA af case-bygninger	37
<b>6 BETYDENDE FORHOLD FOR KLIMAPÅVIRKNINGER OG REFERENCEVÆRDIER</b>	<b>45</b>
6.1 Betragtningssperiode	45
6.2 Bygningstype og udformning	48
6.3 Solceller	53
6.4 Energiklasse	55
6.5 Sekundære bygninger	58
6.6 Opsummering	59
<b>7 MULIGHEDER FOR UDFORMNING AF REFERENCEVÆRDIER</b>	<b>61</b>
7.1 Muligheder for udformning af referenceværdier	61
7.2 Referenceværdier baseret på LCA for 60 case-bygninger	62
7.3 Opdateringer af referenceværdier	64
<b>8 REFERENCER</b>	<b>65</b>
<b>BILAG I: BESKRIVELSE AF CASE-BYGNINGER</b>	<b>67</b>
<b>BILAG II: KORRIGERING FOR MANGLENDE DATA FOR TEKNISKE INSTALLATIONER</b>	<b>69</b>
<b>BILAG III: BRUG AF OVERSLAGS-LCA</b>	<b>75</b>

<b>BILAG IV: DETALJEREDE LCA-RESULTATER VED 50 ÅRS BETRAGTNINGSPERIODE</b>	<b>77</b>
<b>BILAG V: DETALJEREDE LCA-RESULTATER VED 80 ÅRS BETRAGTNINGSPERIODE</b>	<b>87</b>



# 1 INDLEDNING

## 1.1 Baggrund

I de senere år er interessen for at reducere de menneskeskabte påvirkninger på miljøet vokset, og den bæredygtige omstilling er kommet på dagsordenen. Bæredygtighed har sociale, økonomiske og miljømæssige aspekter, hvoraf sidstnævnte er fokuset i denne rapport.

Også inden for bygge- og anlægsbranchen betragtes bæredygtighed som et vigtigt aspekt, der indgår oftere som en del af kvalitetssikringen af et byggeri. Som et led i denne udvikling blev certificeringsordningen DGNB introduceret i 2012 af Green Building Council Denmark. I 2014 blev et forslag om en frivillig bæredygtighedsklasse i bygningsreglementet italesat i den byggepolitiske strategi (Klima-, Energi- og Bygningsministeriet, 2014).

Der er stort fokus på at finde løsninger til, hvorledes samfundets klimaaftryk kan reduceres. Regeringen har fastlagt et mål om 70% reduktion af klimapåvirkningerne i perioden 1990 til 2030. Dette sætter fokus på at finde muligheder for reduktioner i alle samfundets hjørner, og til det har regeringen bl.a. indgået klimapartnerskaber med erhvervslivet.

Bygge- og anlægsbranchen forbruger en stor andel af verdens ressourcer og bidrager til påvirkninger af miljøet i form af materiale- og energiforbrug samt generering af store affaldsmængder. Globalt bidrager byggeriet med omkring 39% af de samlede klimapåvirkninger, hvor cirka 28% stammer fra driftsenergiforbrug til den samlede bygningsmasse og cirka 11% stammer fra forbrug af materialer til nybyggeri og renovering af eksisterende byggeri (World Green Building Council, 2019).

Disse miljøpåvirkninger kan overordnet set nedbringes ved at reducere påvirkninger fra byggematerialer og fra bygningsdriften. I Danmark har der, i en årrække, været fokuseret på at reducere påvirkningerne fra driftsenergiforbruget ved at regulere kravene til energibehov i Bygningsreglementet. Dette har medført, at nye bygninger nu har lavere miljøpåvirkninger fra driftsenergiforbruget end fra byggematerialerne, hvorfor det kan betale sig at rette fokus hen på byggematerialers miljøpåvirkning (Birgisdóttir & Madsen, 2017).

Miljøpåvirkninger og ressourceforbrug fra både drift og byggematerialer kan bestemmes med en LCA af bygningen. Ved brug af en LCA kan miljøpåvirkningerne for et givent byggeri kvantificeres og sammenlignes med tilsvarende byggerier for på denne måde at kunne vurdere, hvordan miljøpåvirkningerne kan reduceres. I DGNB-certificeringen har LCA indgået som en vigtig del af vurderingen af den miljømæssige bæredygtighed siden 2012. Ordningen bygger på referenceværdier til LCA, som byggeriet skal overholde. I første omgang blev tyske referenceværdier tilpasset og brugt som reference til de første danske DGNB-certificeringer. Efterhånden som det danske erfaringsgrundlag med udførelse af LCA på bygninger voksede, blev danske referenceværdier udviklet (Rasmussen, et al., 2019) (Rasmussen & Birgisdóttir, 2018). I Danmark har referenceværdier fra DGNB været anvendt til LCA på bygninger i omtrent 8 år og har været den største kilde til danske erfaringer med LCA på bygninger.

Sammen med forslaget om en frivillig bæredygtighedsklasse i den byggepolitiske strategi fra 2014, indgik der også en vejledningsindsats. Den betød bl.a., at der blev igangsat et udviklingsarbejde hen imod operationalisering af LCA for bygninger. Som følge af dette blev LCA-værktøjet LCAByg lanceret i 2015, og forskellige danske publikationer er senere blevet udgivet på området, herunder *Introduktion til LCA på bygninger* (Birgisdóttir & Rasmussen, 2015), *LCA på større bygningsrenoveringer* (Birgisdóttir & Rasmussen, 2015), *Bygningers*

*indlejrede energi og miljøpåvirkninger* (Birgisdóttir & Madsen, 2017) samt *LCA i tidlig bygningsdesign* (Kanafani, Zimmermann, Birgisdóttir, & Rasmussen, 2019). Disse publikationer og det voksende antal af udførte LCA'er af danske bygninger har været med til at danne det erfarings- og sammenligningsgrundlag, som vi har i dag, og som kan bruges til at finde det rigtige niveau til begrænsning af bygningers klimapåvirkning.

Frankrig, Finland og Sverige er allerede i gang med at udvikle nationale referenceværdier til bygningers klimaaftryk. Desuden overvejer flere lande at indføre referenceværdier til regulering af klimapåvirkning i bygningsreglementet. Frontløberen er Holland, som har haft krav om deklareret siden 2013 og lovkrav om overholdelse af fastsat grænseværdi siden 2018. Sideløbende udarbejdes en international standard for metodebeskrivelse af referenceværdier (ISO 21678) og der arbejdes i Annex 72 under Det Internationale Energiagentur på en fælles forståelse af bygningers miljøpåvirkning (Frischknecht R., Birgisdóttir, Chae, Lützkendorf, T., & Passer, 2019). Der er altså mange initiativer i gang vedrørende referenceværdier for LCA for bygninger, som alle har til formål at belyse behovet for at begrænse miljøpåvirkningerne i forhold til at opnå en mere bæredygtig bygge- og anlægsbranche.

## 1.2 Formål

Formålet med nærværende rapport er etablering af et tilstrækkeligt datagrundlag om klimapåvirkningen af bygninger i Danmark over deres livscyklus. På baggrund af dette datagrundlag opstilles mulige referenceværdier, som er tilpasset den LCA-metode, der bruges i Danmark. SBI har tidligere udarbejdet referenceværdier til LCA til brug ved DGNB-certificering, men i denne rapport er referenceværdierne baseret på et betydeligt større datagrundlag og en opdateret metode.

Datagrundlaget blev udviklet ved at udføre LCA på 60 danske case-bygninger. Rapporten analyserer og fortolker resultaterne og opstiller et udvalg af referenceværdier for klimapåvirkningen. Udvalget af referenceværdierne kan herved bruges til at opstille krav om begrænsning af bygningers klimapåvirkning til fx lovgivning, DGNB-certificering eller udbudsmateriale.

## 1.3 Læsevejledning

Rapporten er opbygget med en introduktion, metode, resultater og analyse, som udmunder i det sidste afsnit, hvor der opsættes referenceværdier:

Rapporten indledes i *kapitel 2* med en kort introduktion til LCA på bygninger.

I *kapitel 3* præsenteres case-bygningerne og LCA-metoden, der bruges som beregningsgrundlag til udarbejdelse af referenceværdierne.

I *kapitel 4* præsenteres resultaterne fra LCA'erne på de udvalgte case-bygninger set over en 50 års-betragtningsperiode. Herfra kan mulige referenceværdier bestemmes.

I *kapitel 5* præsenteres resultaterne fra LCA'erne på de udvalgte case-bygninger set over en 80-års betragtningsperiode. Herfra kan mulige referenceværdier bestemmes.

I *kapitel 6* analyseres resultaterne i forhold til parametre, der erfaringsmæssigt har vist at have betydning for en LCA. Der analyseres, hvordan disse parametre påvirker resultaterne af en LCA og referenceværdierne set over en 50-års betragtningsperiode.

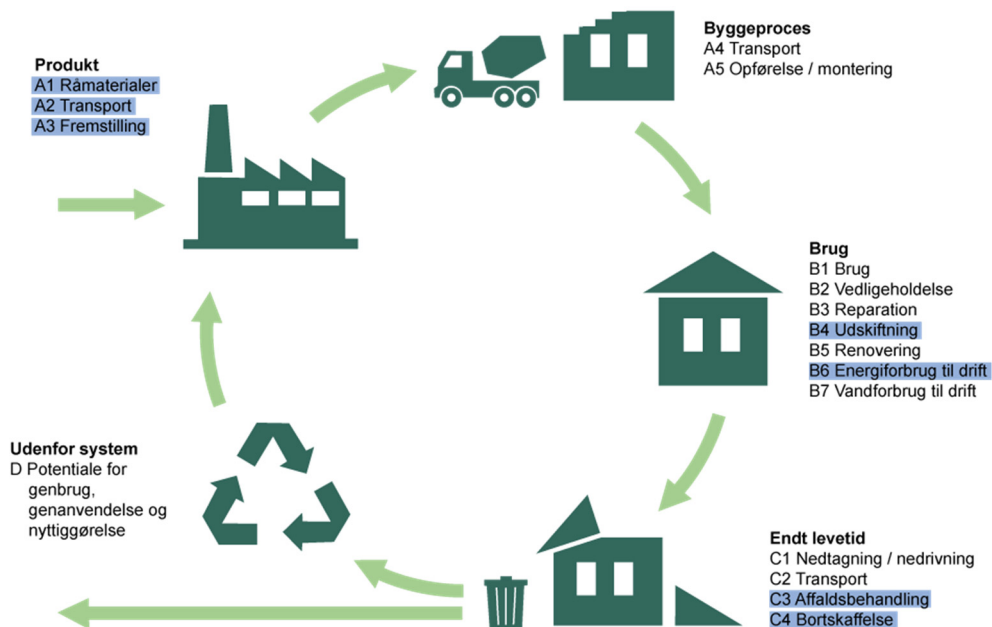
I *kapitel 8* opstilles de mulige referenceværdier til LCA for bygninger for både en 50-års og 80-års betragtningsperiode.





## 2 LCA FOR BYGNINGER

LCA er en standardiseret metode, der kan bruges til at vurdere potentielle miljøpåvirkninger og ressourceforbrug af en bygning. Det langsigtede perspektiv sikrer, at der medregnes påvirkninger fra hele bygningens livscyklus, herunder produktion af byggematerialer, transport, installation, vedligeholdelse, udskiftninger og behandling af materialerne ved endt levetid samt driftsenergi til bygningen, se figur 3. I Danmark medtages der i praksis endnu ikke alle dele af livscyklusen (medtagne moduler er markeret med blå i figur 3). Det skyldes et fokus på de miljømæssigt vigtigste dele af livscyklusen samt manglende erfaringsgrundlag og rutiner til dokumentation af alle andre dele af livscyklusen. Denne tilgang betegnes også som den simplificerede LCA i den europæiske bæredygtighedsmodel Level(s). Efterhånden som erfaringsgrundlaget vokser og flere bygnings-LCA'er bliver tilgængelige, øges fokus på at inkludere flere livscyklusfaser - særligt de faser der sker her og nu såsom byggeprocessen.



**FIGUR 3.** Faser (A, B, C og D) og moduler (A1, A2, etc.) i bygningens livscyklus. I LCA kvantificeres miljøpåvirkninger for de enkelte faser eller moduler. Summen af miljøpåvirkningerne udgør bygningens miljøprofil. I Danmark medtages kun modulerne markeret med blå.

For hver del af livscyklusen beregnes miljøpåvirkninger og ressourceforbrug separat og på baggrund af en betragtningsperiode. Denne periode er det tidsrum, som antages at udgøre bygningens driftsfase. Ved slutningen af betragtningsperioden regnes bygningen nedrevet for at fuldføre livscyklusperspektivet. Betragtningsperioden skal dog ikke sammenlignes med bygningens antagede levetid, som kan være længere.

Påvirkningerne angives normalt inden for en række miljøpåvirkningskategorier, som afspejler forskellige former for skader på miljøet. I Danmark regnes der normalt med følgende kategorier:

- Klimapåvirkning (Global Warming Potential, GWP)
- Ozonlagsnedbrydning

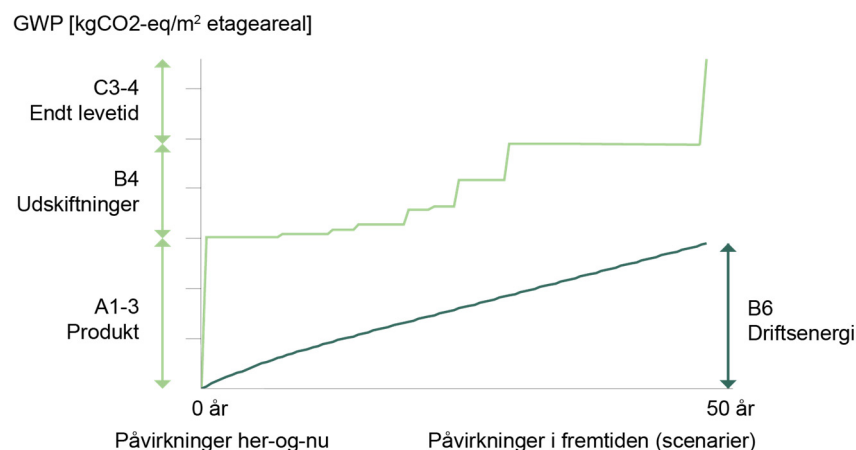
- Forsuring
- Næringssaltbelastning
- Fotokemisk ozondannelse
- Udtømning af abiotiske ressourcer – grundstoffer
- Udtømning af abiotiske ressourcer – fossile brændsler
- Primærenergiforbruget
- Forbrug af sekundære brændsler

Hvis forskellige miljøpåvirkningskategorier skal kunne anvendes til én fælles referenceværdi, kræver det en beslutning om, hvordan disse kategorier skal vægtes op mod hinanden. I dette studie blev der valgt at fokusere på klimapåvirkningen. Klimapåvirkningen er en miljøpåvirkningsindikator for den potentielle globale opvarmning af jordens overfladetemperatur på baggrund af øget koncentration af drivhusgasser, som bidrager til drivhuseffekten. Enheden er kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter, hvor de forskellige drivhusgassers påvirkning bliver omregnet til kuldioxids klimabelastning.

Livscyklusperspektivet indebærer, at der både medtages påvirkninger, som sker her og nu, dvs. produktion af byggematerialer, samt påvirkninger, som antages at ske på baggrund af et fremtidsscenarie, fx relateret til driftsenergi eller nedrivning. Dette er illustreret i figur 4, hvor de akkumulerede, dvs. de sammenlagte, påvirkninger er vist over en betragtningsperiode, her vist for 50 år. I figuren ses to kurver: Den øverste relaterer sig til materialernes påvirkninger, og den nederste relaterer sig til påvirkninger fra driftsenergien.

Påvirkningerne fra produktion af materialerne ses ved den store stigning af den øverste kurve ved år 0. I perioden mellem år 0 og 50 år sker der udskiftninger af bygningsdele. Ved udskiftningerne kommer der påvirkninger fra bortskaffelse af byggevaren samt påvirkninger fra produktionen af en ny tilsvarende byggevare. Disse påvirkninger ses som små og større stigninger på den øverste kurve. Sideløbende sker der påvirkninger fra driftsenergien, som er illustreret på den nederste kurve. Ved år 50 beregnes påvirkninger frem til endt levetid af bygningen, svarende til nedrivning af bygningen og bortskaffelse af alle byggematerialer. Disse påvirkninger kan ses som en stigning i den øverste kurve.

Livscyklusperspektivet er vigtigt for at undgå at forskyde påvirkningerne fra én del af livscyklussen til en anden. Men det er også vigtigt at være opmærksom på de påvirkninger, som sker her og nu, især fordi disse påvirkninger kan beregnes med større sikkerhed, og en reduktion af disse ville have en umiddelbar miljøeffekt.

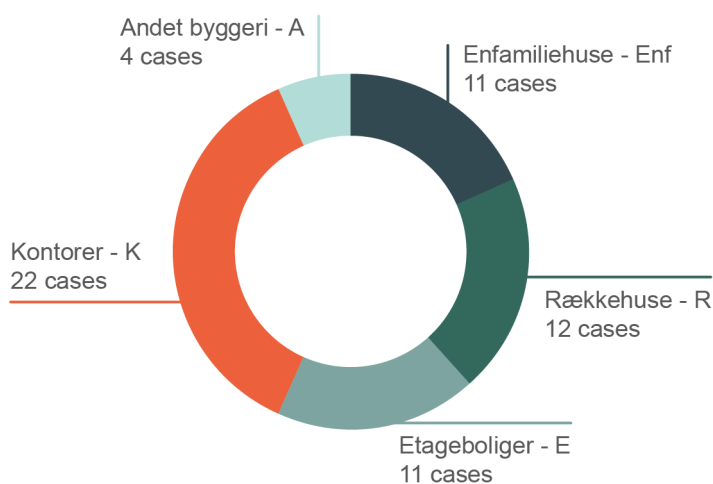


**FIGUR 4.** Akkumulerede påvirkninger over betragtningsperioden. Der vises separate bidrag fra materialer (øverste kurve) og drift (nederste kurve). Grafen illustrerer at bygninger har en markant materialepåvirkning ved opførelse (A1-3). Over betragtningsperioden vil der være påvirkninger fra udskiftninger af materialer (B4) og energiforbrug (B6). Ved nedrivning sker der påvirkninger fra behandling af materialerne ved endt levetid (C3-4).

## 3 BEREGNINGSGRUNDLAG

### 3.1 60 case-bygninger

Data, der ligger til grund for udarbejdelsen af referenceværdier, stammer fra DGNB-certificerede projekter, eksterne projekter samt livscyklusvurderinger udført af SBI som en del af dette projekt. I alt er der inkluderet 60 forskellige case-bygninger som er/bliver opført i perioden fra 2013 til 2021 opdelt på fem bygningstyper (se figur 5). Desuden vises i figur 5 en kode for hver bygningstype, for at lette identificering af, hvilke bygningstyper, der er inkluderet i resultaterne præsenteret i afsnit 4, 0 og 6.



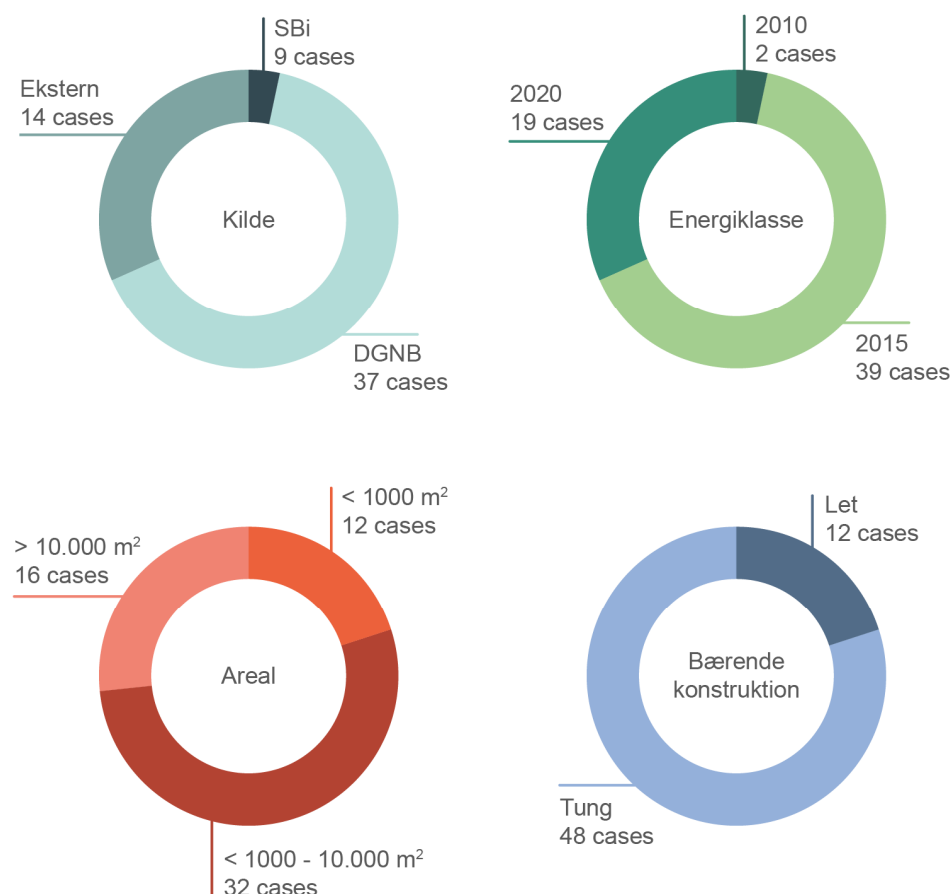
**FIGUR 5.** Antal cases fordelt på bygningstyper. Tilsammen er der 60 cases, hvoraf 34 er boliger og 26 er kontorer og andet byggeri – herunder skole, hospital og multifunktionsbygninger.

Ud af de 60 case-bygninger er der inkluderet 37 DGNB-certificerede projekter inden for bygningstyperne *Rækkehuse*, *Etagebyggeri* og *Kontorer*. For at sikre tilstrækkeligt datagrundlag og for at inkludere *Enfamiliehuse* har SBI foretaget yderligere livscyklusvurderinger af en række projekter, baseret på materialeopgørelser fra tegningsmateriale indhentet fra arkitekter, rådgivere og typehusfabrikanter. De resterende cases stammer fra eksterne projekter indhentet af SBI. De eksterne projekter udgør bl.a. bygningerne til kategorien *Andet byggeri*, som indeholder skole, hospital og multifunktionsbygninger. I indsamlingen af case-bygningerne er det forsøgt at inkludere et bredt udvalg af cases med forskellige kvaliteter i henhold til bygningstyper, energiklasser, materialer, solcelleareal m.m. På denne måde tages der højde for forskelle mellem bygninger, således at datagrundlaget for referenceværdierne bliver så repræsentativt som muligt. Der er dog ikke lavet nogen statistisk vurdering af, hvilke case-bygninger, der er mest repræsentative for den danske bygningsmasse.

Som led i udarbejdelsen af datagrundlaget for referenceværdierne er alle projekterne opdateret til LCAbyg version 4.0 (beta) for at udligne forskelle i metode og database. I denne proces sikres det, at alle cases inkluderer de elementer, som LCA'er bør i henhold til EN15978, og at databasen, som er tilgængelig i LCAbyg version 4.0 (beta), er den primære

kilde til miljødata. LCAbyg version 4.0 (beta) er en beta-version af den officielle LCAbyg version 3, som er et beregningsværktøj udviklet af SBI og udgivet af Energistyrelsen (nu Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen). De DGNB-certificerede projekter er overført fra DGNB's LCA-værktøj til LCAbyg, hvor de eksterne projekter og SBI-projekterne er opdateret fra en ældre version af LCAbyg til LCAbyg version 4.0 (beta).

I figur 6 er bygningstyperne gennemgået i henhold til kilde, energiklasse, areal og konstruktionstype, hvor konstruktionstypen er angivet i to kategorier – tungt og let byggeri. Differentieringen mellem tungt og let byggeri er relateret til den bærende konstruktion, hvor tungt byggeri er udført med muret bagmur eller betonelementer og let byggeri af skeletkonstruktioner. Differentieringen er uafhængig af, hvilken type facadebeklædning, der er anvendt.



**FIGUR 6.** Oversigt over datagrundlaget for de fem bygningstyper. Tungt byggeri er defineret ved bærende konstruktioner udført med bagmur eller betonelementer, hvor let byggeri svarer til bærende konstruktioner i skeletkonstruktioner. Se Bilag I, tabel 8 for fordelingen på de enkelte case-bygninger.

For at danne et overblik over de primære materialer i casene, er materialerne for alle case-bygninger gennemgået og kategoriseret inden for bygningsdelene:

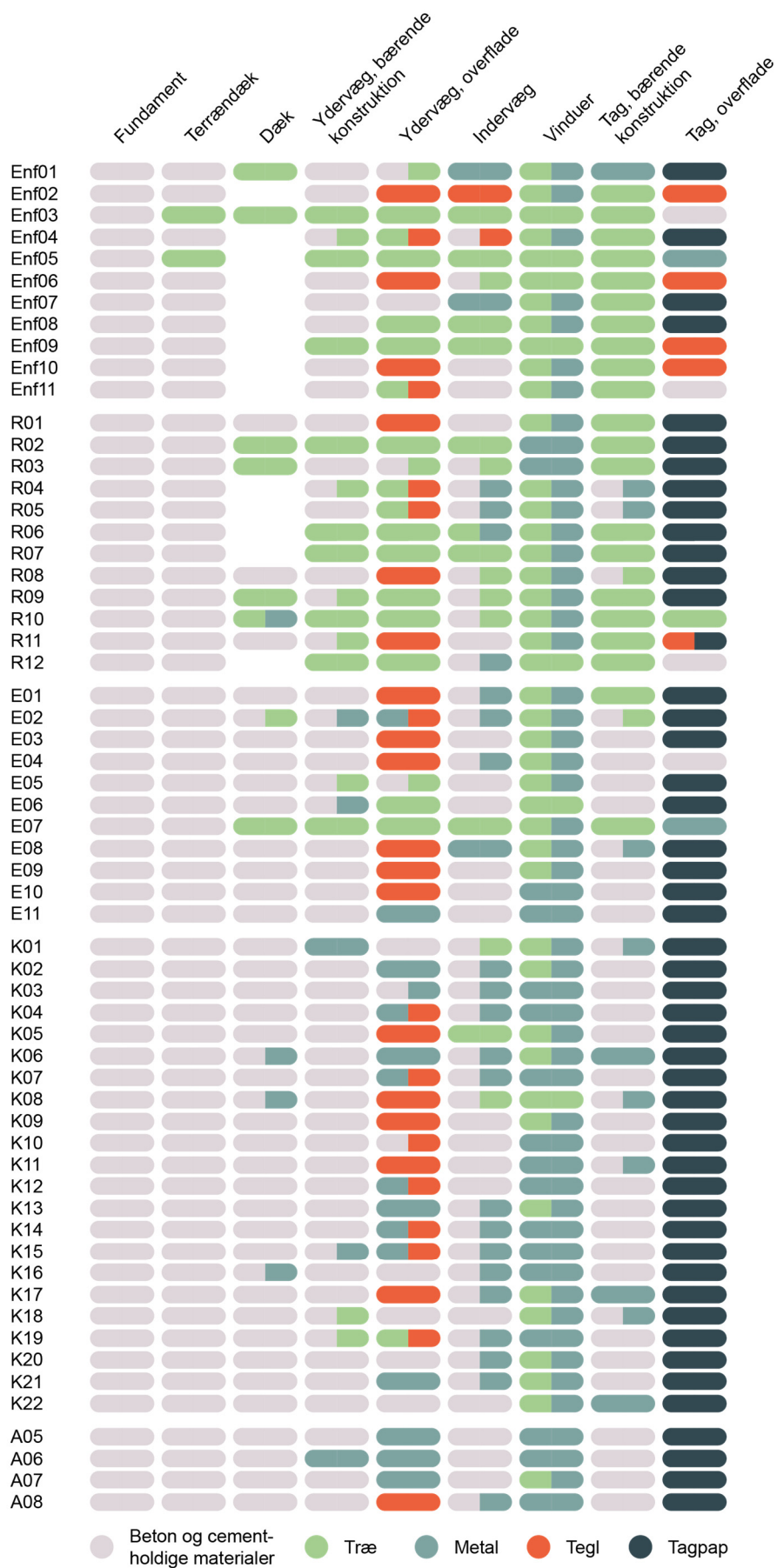
- *Fundament*
- *Terrændæk*
- *Dæk*
- *Ydervægge – bærende konstruktion*
- *Ydervægge – facader*
- *Indervægge,*
- *Vinduer*
- *Tag – bærende konstruktion*
- *Tag – overflade.*

Kategorien *Indervægge* inkluderer både bærende og ikke-bærende indervægge, da det ikke har været muligt at differentiere inden for disse to kategorier. Materialerne er yderligere kategoriseret i materialegrupper, der dækker over de overordnede materialer i bygningen, som erfaringsmæssigt varierer fra bygning til bygning, og kan have stor indflydelse på miljøpåvirkningen. Kategorierne for materialerne inden for de forskellige bygningsdele er:

- *Beton – og cementholdige materialer*
- *Træ*
- *Metal*
- *Tegl* (mursten og tagsten af tegl)
- *Tagpap*.

Tabel 1 viser fordelingen af materialer i case-bygningerne.

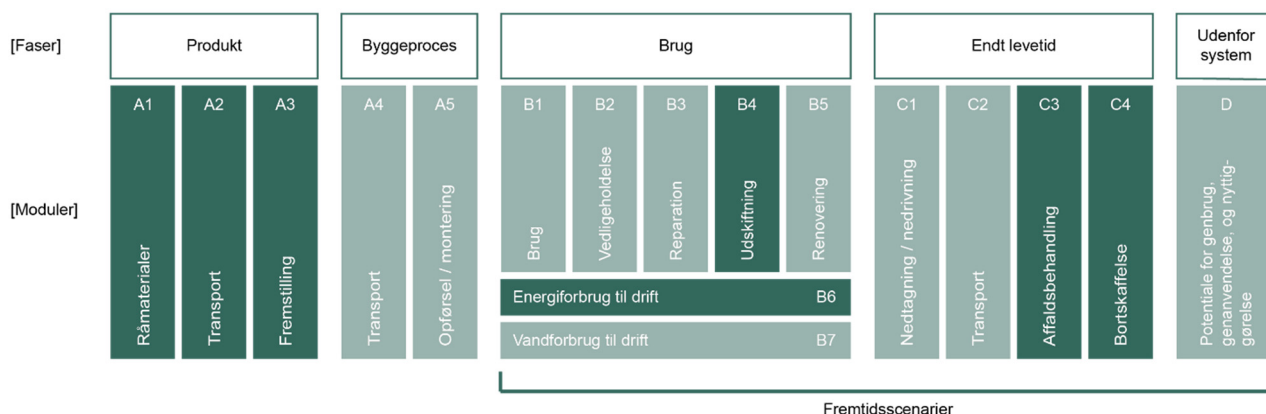
TABEL 1. Oversigt over materialer i bygningsdelene for alle case-bygninger



## 3.2 Metodebeskrivelse for LCA

### Livscyklusfaser

I henhold til standarden for vurdering af bygningers miljømæssige kvalitet, EN 15978, omfatter en LCA fem forskellige livscyklusfaser og 17 underliggende moduler (se figur 7). Dette udgør tilsammen hele bygningens livscyklus, hvor der både tages højde for forbrug af byggematerialer såvel som processer vedrørende driften af en bygning (driftsenergiforbrug og vandforbrug). I LCAbyg er det på nuværende tidspunkt kun muligt at regne på et udvalg af de 17 moduler, nemlig produktion og transport af byggevarer (A1-3), udskiftning af bygningsdele (B4), driftsenergi (B6) og affaldsbehandling ved endt levetid (C3-4). Da LCAbyg version 4.0 (beta) er valgt som LCA-værktøj til at lave analyserne af de 60 case-bygninger, er det derfor kun de udvalgte moduler, der bliver taget i betragtning i dette projekt. Figur 7 viser de moduler, der indgår i EN 15978, samt hvilke moduler, der er omfattet af projektet. Der henvises til (Birgisdottir & Rasmussen, 2015) for en generel introduktion til LCA på bygninger.



**FIGUR 7.** Livscyklusfaser indeholdt i EN 15978. De moduler, der er tilgængelige i LCAbyg og som betragtes i dette projekt, er markeret med mørkegrøn.

### Medtagne bygningsdele

I en LCA ønskes et så fuldstændigt billede af bygningen som muligt. De DGNB-certificerede projekter følger som udgangspunkt regelsættene fra DGNB vedrørende hvilke bygningsdele, der bør inkluderes i en LCA (DK-GBC, 2016). For de eksterne projekter afhænger fuldstændigheden i høj grad af den data, der har været tilgængelig ved modellering. SBI-projekterne følger som udgangspunkt bygningsdels-klassifikationssystemet SfB, hvor følgende bygningsgrupper er inkluderet, hvis tilstede i bygningen:

- Fundamenter
- Terrændæk
- Dæk
- Ydervægge
- Bærende konstruktioner
- Indervægge
- Tage
- Trapper og ramper
- Altaner og altangange
- Vinduer, døre og glasfacader
- Afløb
- Vand
- Varme
- Ventilation og køl
- El- og mekaniske anlæg
- Andet



## Tekniske installationer

Generelt for bygnings-LCA'er ses ofte, at data for tekniske installationer er mangelfulde. Dette gælder også for de 60 case-bygninger inkluderet i denne rapport, hvor data for flere grupper af de tekniske installationer (afløb, vand, varme samt ventilation og køl) mangler for nogle af case-bygningerne. I nogle case-bygninger fylder disse installationer op mod 10% af bygningens klimapåvirkning fra materialer (se Bilag II, figur 27). Da en ufuldstændig bygningsmodel vil kunne skævvride resultatet for referenceværdierne, korrigeres resultaterne af LCA'erne for manglende data på tekniske installationer. I tekniske installationer forstås rør og anlæg indeholdt i de overordnede grupper afløb, vand, varme samt ventilation og køl. Solceller er ikke inkluderet i de tekniske installationer, da data for solceller er tilstrækkelige, og det derfor ikke er nødvendigt at korrigere case-bygningerne for manglende data på solceller.

Korrekturen er foregået ved at erstatte alle case-bygningers data for de nævnte tekniske installationer med generisk data for tekniske installationer. De generiske data er baseret på de cases, som indeholder tilstrækkelig data for tekniske installationer. Ud fra case-bygningerne med tilstrækkelig data fås generiske værdier (medianværdien) for klimapåvirkningen for de forskellige grupper af tekniske installationer. Medianværdien for de forskellige grupper af tekniske installationer fremgår af tabel 2.

TABEL 2. Beregning af den repræsentative klimapåvirkning (median) for tekniske installationer.

Grupper	Projekter med udfyldt gruppe	Medianværdi ved 50 år	Medianværdi ved 80 år
		[kg CO <sub>2</sub> -ækv/m <sup>2</sup> /år]	[kg CO <sub>2</sub> -ækv/m <sup>2</sup> /år]
Afløb	18%	0,02	0,02
Vand	23%	0,12	0,11
Varme	37%	0,23	0,24
Ventilation og køl	30%	0,08	0,08
Sum		0,46	0,45

Vær opmærksom på, at summen er beregnet på baggrund af de ikke-afrundede værdier for medianer. Derfor vil rækken "Sum" ikke nødvendigvis vise den præcise sum af tallene ovenfor.

## Betragtningsperiode

Til LCA'erne af de 60 case-bygninger anvendes en betragtningsperiode på hhv. 50 år og 80 år. Betragtningsperioden er et udtryk for den årrække bygningen analyseres over i LCA'en. Levetiden af bygningen kan derfor godt være længere end den anvendte betragtningsperiode. Jo længere betragtningsperioden er, des mindre vægt lægges på de påvirkninger, der sker i dag ved bygningens opførelse. Til gengæld lægges der større vægt på de påvirkninger, som sker i bygningens brugsfase, herunder udskiftning af materialer og driftsenergiforbrug.

I Danmark blev det i opstartsfasen af DGNB-ordningen valgt at anvende samme betragtningsperiode ved udførslen af LCA til certificering som i DGNB Tyskland og internationalt, nemlig 50 år. Senere, ved en opdatering af DGNB-manualerne, blev der valgt både at anvende kortere betragtningsperioder på 50 år og længere betragtningsperioder på henholdsvis 80 for kontorer, 100 for skoler, institutioner og hospitaler og 120 år for boliger, i tråd med SBI rapport nr. 30 fra 2013(Aagaard, Brandt, Aggerholm, & Haugbølle, 2013). Betragtningsperioden på 50 år stammer fra økonomiske afskrivningstider af anlægsinvesteringer, hvorimod de længere perioder afspejler forventninger om bygningernes reelle levetider(Aagaard, Brandt, Aggerholm, & Haugbølle, 2013). En analyse af nedrivninger af 20.999 danske bygninger i perioden 2009-2015 viste at medianværdien for bygningernes levetid var 59 år, og gennemsnittet var 70 år (Østergaard, et al., 2018).

I den generelle europæiske og internationale praksis anvendes normalt betragtningsperioder på 50 til 60 år. I den foreløbige udgave af Level(s) var det en anelse uklart, om der skulle anvendes 50 eller 60 år til udførelse af LCA (Dodd, Cordella, Traverso, & Donatello, 2017). Den seneste udmelding fra Level(s) i februar 2020 er, at der i den opdaterede version af Level(s) anvendes en betragtningsperiode på 50 år. Tabel 3 viser betragtningsperioder anvendt i et sammenligningsstudie af en kontorbygning udført i det igangværende internationale IEA Annex 72 projekt, som fokuserer på international harmonisering af udførelse af LCA på bygninger. Her anvender eksperter i 15 ud af 21 lande 50 år som betragtningsperiode, 60 år i 5 ud af 21 lande og i ét land, nemlig Danmark, anvendes 80 år som betragtningsperiode. I en omfattende undersøgelse af 650 videnskabelige studier på LCA'er af bygninger ses det, at en betragtningsperiode på 50 år bruges i omkring 60 % af samtlige studier (Röck, et al., 2020). Betragtningsperioder på 80, 100 og 120 år benyttes i tilsammen 9 % af samtlige studier.

LCA resultaterne af de 60 case-bygninger er undersøgt for betydningen af betragtningsperioden i afsnit 6.1.

**TABEL 3.** Betragtningsperiode anvendt i et internationalt sammenligningsstudie af kontorbygninger i IEA Annex 72 projektet som fokuserer på international harmonisering af udførelse af LCA på bygninger (Frischknecht R., et al., 2019) (Frischknecht R., Birgisdottir, Chae, Lützkendorf, T., & Passer, 2019).

	Belgien	Brasilien	Canada	Danmark	Frankrig	Holland	Hong Kong	Italien	Kina	New Zealand	Norge	Schweiz	Portugal	Spanien	Storbritannien	Sverige	Tjekkiet	Tyskland	Ungarn	USA	Østrig
50		x		x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x
60	x		x							x	x	x									
80				x																	

### Udskiftning af byggevarer

Betragtningsperioden har indflydelse på udskiftningen af byggevarer. De byggevarer, der har kortere levetid end betragtningsperioden, skal udskiftes en eller flere gange i løbet af betragtningsperioden. Levetiden for de enkelte bygningsdele bliver i dette projekt baseret på SBI-2013:30 og findes også i LCAbyg. Antallet af udskiftninger afhænger af den fastsatte levetid for de enkelte byggevarer. I LCAbyg regnes med, at byggevarer kun udskiftes, hvis der er mere end 10 år tilbage af betragtningsperioden samt at udskiftning af byggevarer undlades, hvis der er mindre end en tredjedel af byggevaarens levetid tilbage i bygningen.

### Database

Livscyklusvurderingerne i dette projekt er primært baseret på materialer, der er tilgængelig i LCAbyg version 4.0 (beta). Databasen i LCAbyg for materialer består hovedsageligt af *generic* eller *average* data fra Ökobaumat 2016 og kun i begrænset omfang af produktspecifik data. Ökobaumat er en tysk database og repræsenterer derfor ikke nødvendigvis dansk produktion i forhold til miljøpåvirkninger og ressourceforbrug. I dag findes der ikke nogen dansk database, og det er derfor ikke muligt at anvende dansk data i bygnings-LCA'erne. Dette medfører en risiko for at dansk data har en højere eller lavere miljøpåvirkning end den beregnede og det ville derfor være bedst at anvende dansk data til estimering af de eksakte miljøpåvirkninger.

### Biobaserede materialer

Databasen i LCAbyg medregner biogent carbon i biobaserede materialer. Biobaserede materialer har en evne til at optage, lagre og frigive kulstof i deres levetid. Dette kulstof omtales

som biogent carbon. I beregningen af klimapåvirkningen for biobaserede materialer i databasen i LCAByg tages der højde for optaget og frigivelsen af biogent carbon jf. EN 15804:2012. Heraf fremgår det, at klimapåvirkningen for biobaserede materialer bør beregnes som negativ i Produkt fasen (modul A1-3), grundet optaget af biogent carbon i væksten, og som positiv ved endt levetid (modul C3-4), når det biogene carbon frigives ved forrådnelse eller forbrænding. På denne måde vil balancen af biogent carbon inden for den enkelte livscyklus beregnes som 0. I denne rapport betyder det, at case-bygninger indeholdende store mængder af biobaseret materiale typisk vil have en lav eller negativ klimapåvirkning i Produkt fasen og en stor positiv påvirkning ved Endt levetid. Bemærk, at jf. den nyeste version af produktstandarden (EN 15804:2012+A2:2019) bør den lagrede biogene carbon rapporteres separat fra den carbon, der er relateret til fossile brændsler og den carbon der er relateret til ændret arealanvendelse. Denne opdeling er dog endnu ikke tilgængelig i de data, der danner baggrund for beregningerne i denne rapport.

### **Driftsenergiforbrug**

Påvirkninger fra driftsforbruget for alle case-bygninger er beregnet på baggrund af data tilgængelig i LCAByg. Data i LCAByg er baseret på rapporten "Nye emissionsfaktorer for el og fjernvarme" (COWI og Trafik-, bygge- og boligstyrelsen, 2016). I dette projekt er fremskrevne data over perioden 2015 til 2050 valgt som scenarie. Dette betyder at der antages en gradvist stigende andel af fornybar energi i energinettet i løbet af den givne tidsperiode (2015-2050).

### **Miljøpåvirkningskategorier**

Resultaterne af disse analyser bliver i LCAByg vist for ni forskellige miljøindikatorer alle indeholdt som standardindikatorer i EN 15978. Formålet med dette projekt er dog kun at fokusere på miljøindikatoren *Global opvarmning (GWP)* eller på dansk *klimapåvirkning*. Det vil derfor være den indikator, der fremgår af denne rapport, således at der ses bort fra øvrige indikatorer. Beslutningen om at fokusere på klimapåvirkningen er taget med udgangspunkt i, at klimapåvirkningen er et højt prioriteret emne i dag. For at kunne lave en bred miljømæssig vurdering vil en LCA normalt fokusere på flere forskellige miljøindikatorer. Dette er essentielt at være opmærksom på, da andre miljøindikatorer kan være yderst relevante og vigtige, hvis den fulde påvirkning for en bygning skal vurderes.

### **Referenceenhed**

Gennem rapporten vil resultaterne af LCA'erne blive præsenteret i GWP normaliseret til arealet (pr. m<sup>2</sup>) og betragtningsperioden (pr. år). Normaliseringen til pr. m<sup>2</sup> foregår ved at påvirkningen fra driftsenergiforbruget normaliseres over det opvarmede etageareal, og hvor påvirkningerne fra materialerne normaliseres over bruttoarealet. Det gøres bl.a. for ikke at udvande påvirkningerne fra driftsenergien over et større areal end det, der skal opvarmes. Derudover bruges betragtningsperioden til at normalisere resultaterne til pr. år.

### **Databehandling af resultater**

Af resultaterne er der foretaget simpel statistisk databehandling, hvor det primære fokus har været at undersøge forskelle i de 60 case-bygninger, og hvordan disse forskelle kan påvirke resultaterne i GWP og dermed en eventuel referenceværdi. I afsnit 6 er forskellige aspekter, der erfaringsmæssigt har vist stor indflydelse på klimapåvirkningerne, undersøgt, herunder solceller. Der er også undersøgt relevante aspekter, hvor indflydelsen ikke er så kendt, herunder bygningstype og udformning, energiklasse og sekundære bygninger. Resultaterne af hvordan disse aspekter har indflydelse på miljøpåvirkningerne afhænger af case-bygninger,

som bruges i analysen. Det kan dermed ikke betragtes som konklusioner, der er gældende for alle bygninger. Nedenfor er de aspekter, der er undersøgt nærmere, listet.

- Betragtningssperiode
- Bygningstype og udformning
- Solceller
- Energiklasse
- Sekundære bygninger

Derudover undersøges det i Bilag III hvordan overslags-LCA'er kan påvirke klimapåvirkningen. Overslags-LCA anvendes ofte i den tidlige designfase, hvor designet endnu ikke er helt fastlagt.



## 4 RESULTATER FRA LCA VED 50-ÅRS BETRAGTNINGSPERIODE

### 4.1 Resultater fra LCA af case-bygninger

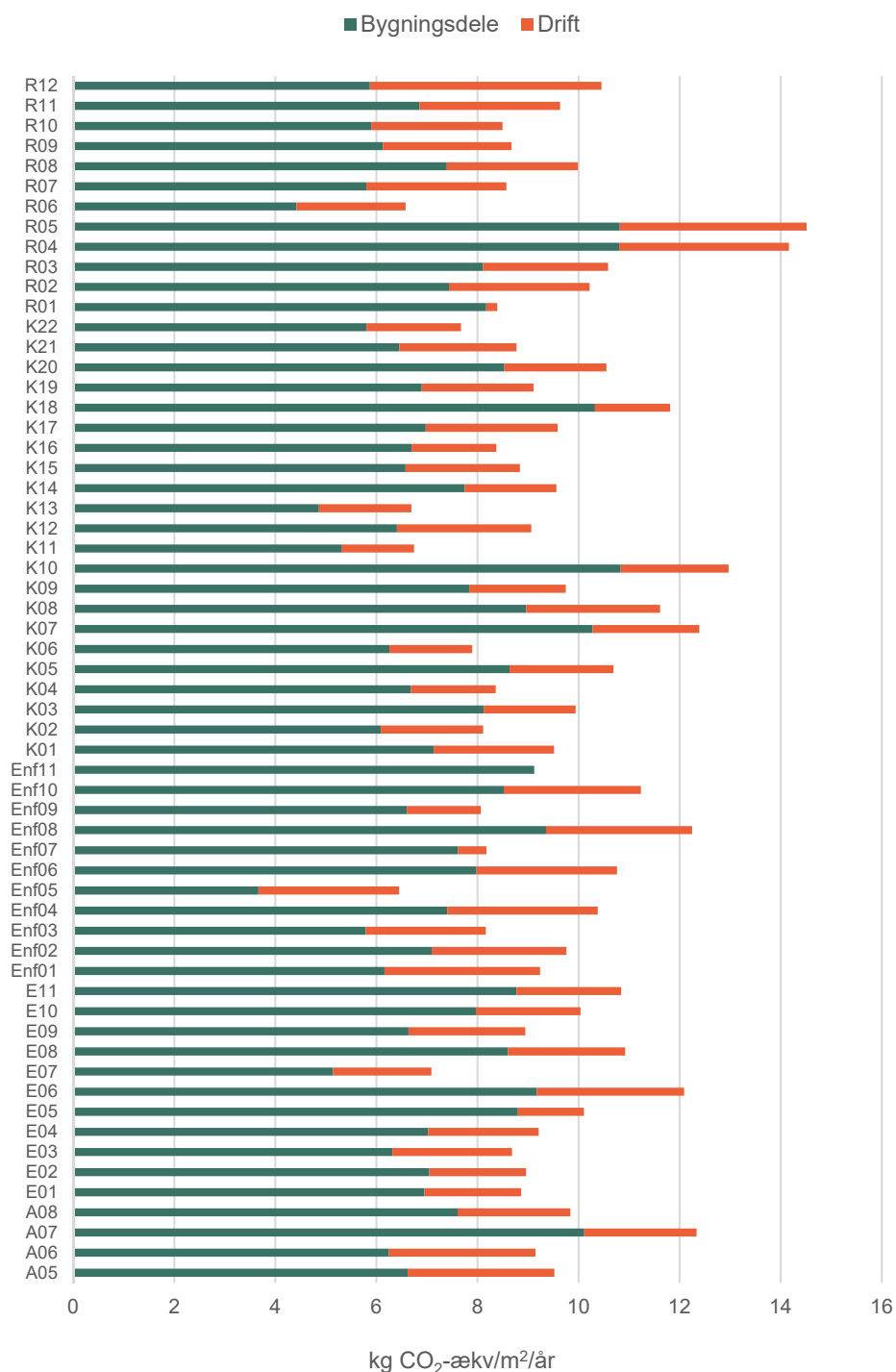
I dette afsnit vises resultaterne for alle case-bygninger ved en 50-års betragtningsperiode i kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup> eller kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år. Resultaterne vises for alle 60 case-bygninger, hvor der er korrigeret for manglende data på tekniske installationer, som beskrevet i afsnit 3.2.

Figur 8 viser påvirkningerne fra case-bygningerne regnet over en 50-års betragtningsperiode og vist pr. m<sup>2</sup>/år. Af figuren fremgår det, at der er en stor variation i bygningernes samlede klimapåvirkninger. Nogle bygninger har op til 2,25 gange større påvirkninger fra både materialer og drift end andre bygninger, varierende fra 6,45 til 14,52 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år.

Desuden fremgår det, at påvirkningerne fra bygningens materialer typisk er 2-4 gange højere end påvirkningerne fra driftsenergiforbruget. Påvirkningerne fra materialerne varierer fra 3,67 til 10,84 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år, hvor påvirkningerne fra driftsenergiforbruget varierer fra 0,22 til 4,58 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år. Her er det vigtigt at være opmærksom på, at driftsenergiforbruget for hver bygning er baseret på data fra energirammeberegninger. Det faktiske driftsenergiforbrug ligger erfaringsmæssigt højere, fordi beregningsmetoden ikke omfatter alt forbrug og anvender standardantagelser. Det betyder, at den reelle klimapåvirkning formentlig vil være højere.

Ligeledes vil den reelle klimapåvirkning fra materialerne også være højere. I metodeafsnittet er det beskrevet, at ikke alle livscyklusfaser er medtaget i beregningen. Det betyder at der ikke medtages påvirkninger fra transport til byggepladsen samt installation og materiale-spild på byggepladsen. Der er heller ikke medtaget reparation og vedligeholdelse af byggematerialerne, som også har potentiale til at forøge klimapåvirkningen.

Det skal bemærkes, at en enkelt bygning (Enf11) ingen data har for driftsenergiforbruget, hvorfor denne bygning ingen påvirkning for drift har (se figur 8).



**FIGUR 8.** Klimapåvirkninger fra de 60 case-bygninger set over en 50-års betragtningsperiode fordelt på materialer og drift. Enf11 har ikke data for drift, derfor vises kun resultatet for materialer.

På figur 9 illustreres det, hvordan påvirkningen fra materialerne fordeles på årlig basis. Resultaterne vises på en tidsakse i enheden kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>, hvor det er tydeligt at nogle påvirkninger sker her og nu, mens andre påvirkninger indgår som et scenarie, der først sker i fremtiden. Det ses af figuren, at materialernes klimapåvirkning for de fleste bygninger er størst i år 0, hvor bygningen opføres. Der er dog nogle bygninger, der har en lav påvirkning i år 0, men til gengæld en høj påvirkning i år 50, hvor betragtningsperioden ender. Dette skyldes, at disse bygninger har en større andel af træprodukter, som lagrer biogent carbon

(CO<sub>2</sub>). Som beskrevet i afsnit 3.2 antages dette biogene carbon frigivet igen ved endt levetid, hvor frigivelsen medregnes i LCA'en uanset om træet antages at blive forbrændt, genbrugt eller genanvendt. Derfor vil bygninger med en stor andel biogent materiale have en lav eller negativ klimapåvirkning i produktfasen (fase A1-3) og en højere påvirkning ved endt levetid (C3-4), hvilket også afspejles i resultaterne.

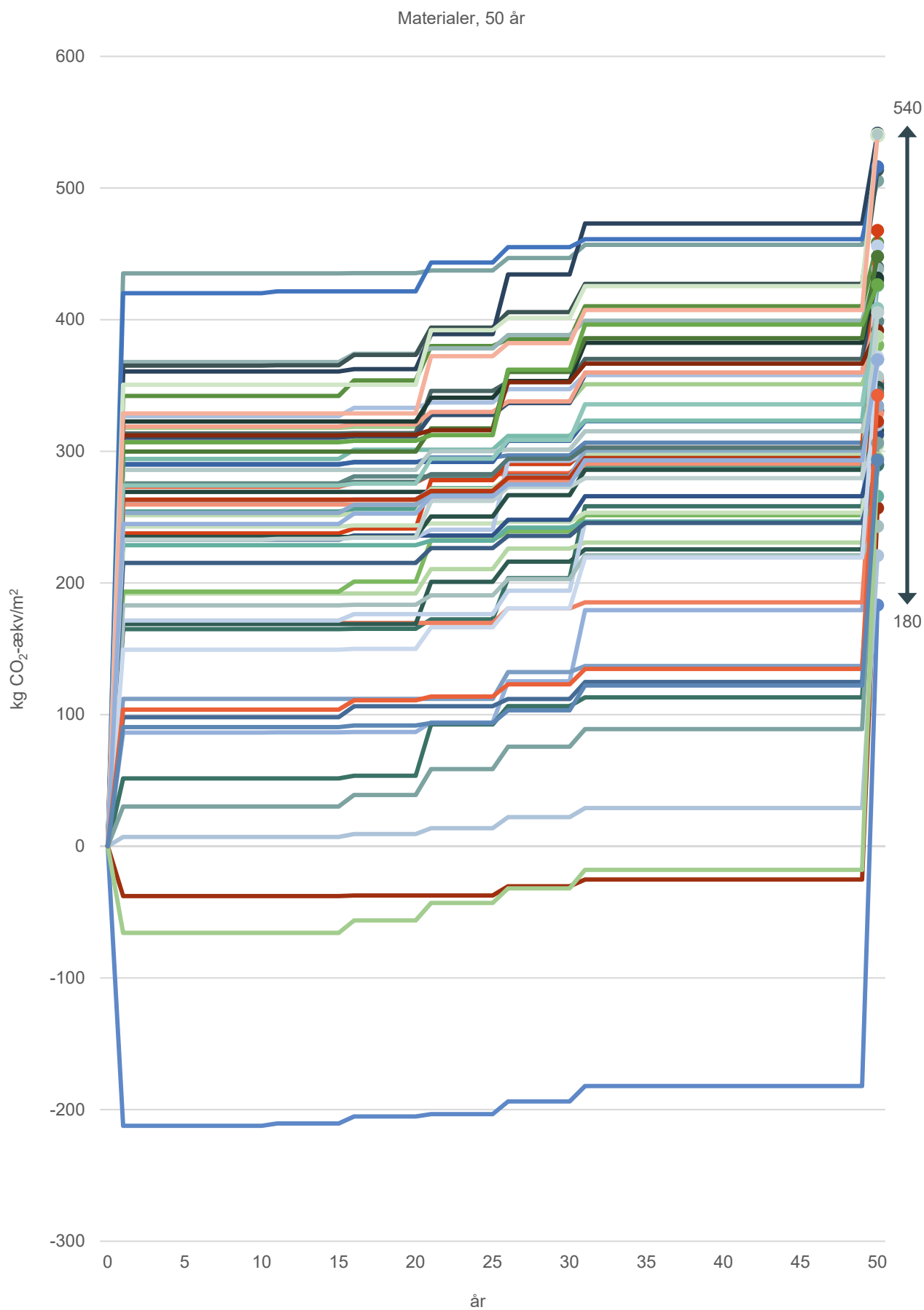
Efter her og nu påvirkningerne når bygningen opføres, fremgår udskiftningen af materialer (fase B4) som påvirkninger mellem år 0 og år 50. På figur 9 ses det at påvirkningerne fra udskiftninger sker i år 15, 20, 25 og 30, hvilket typisk svarer til udskiftning af hhv. maling, tagpap, termoruder, solceller og tekniske installationer. Det er dog stadig materialeforbruget i år 0 (fase A1-A3), der typisk giver den største påvirkning for de fleste case-bygninger (se figur 10 til venstre).

Ved slutningen af betragtningsperioden, i år 50, ses det, at den samlede klimapåvirkning fra case-bygninger – når kun påvirkningen fra materialerne betragtes – varierer fra 180 til 540 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>. Dette viser, at der er et potentiale for at reducere den samlede påvirkning pr. m<sup>2</sup> via materialevalg.

På figur 10 til højre ses det, at påvirkningerne fra materialerne hovedsagligt stammer fra bygningsdelsgrupperne tage, ydervægge og dæk/terrændæk. I nogle case-bygninger er der ikke differentieret mellem dæk, terrændæk og tagdæk, hvilket betyder, at der for nogle cases fx ikke er påvirkninger fra Tage, da tagdækkets påvirkning er kategoriseret under Dæk etc. Dette skyldes altså forskellige valg i LCA'en og disse forskelle ses især i de DGNB-certificerede og eksterne projekter.

Desuden fremgår det af figur 10, at der også er store påvirkninger fra grupperne Vinduer, Indervægge, Fundamenter og Solceller (hvor disse er inkluderet). Dette viser, at det er de store bygningsdelsgrupper, der udgør den største andel af den samlede påvirkning for case-bygningerne og at det er her, det største potentiale for at reducere miljøpåvirkningerne fra bygningerne er.





**FIGUR 9.** Akkumuleret klimapåvirkning fra case-bygningernes materialer over en 50-års betragtningsperiode. Klimapåvirkning angives pr m<sup>2</sup> etageareal. Klimapåvirkningerne for drift er ikke inkluderet i grafen.



**FIGUR 10.** Materialernes klimapåvirkninger fra de 60 case-bygninger over en 50-års betragtningsperiode fordelt på henholdsvis livscyklusfaser (venstre) og bygningsdelsgrupper (højre). Klimapåvirkningerne for drift er ikke inkluderet i grafen.

Figur 11 viser påvirkninger fra driftsenergien i kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>. Resultaterne vises igen på en tidsakse i enheden kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>, hvor det ses, at driftsenergien aftager over tid. Dette skyldes, at energisammensætningen, som er regnet med i LCAByg, er fremskrevet i henhold til nationale målsætninger om en successiv større andel vedvarende energi i fremtiden, som vil have en lavere klimapåvirkning. Denne omstilling til vedvarende energiproduktion har størst effekt i el-produktionen, hvilket betyder, at bygninger med en høj andel elforbrug, særligt bygninger med eldrevne varmepumper, har større reduktioner i påvirkninger over tid sammenlignet med bygninger med fjernvarme som varmekilde.

Af figur 11 ses det, at der er stor spredning i resultaterne for driftsenergiforbrug (fra 11 til 230 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup> ved 50 år) (se figur 11). Dog ses det også af figuren, at denne spredning inkluderer to cases, som har et markant lavere driftsenergiforbrug end de resterende case-bygninger samt en case, der har et markant højere driftsenergiforbrug. Case-bygningerne med et lavt driftsenergiforbrug har kun bidrag fra elforbrug, da de bliver opvarmet med varmepumpe, hvilket medfører lave miljøpåvirkninger fra drift over tid. Derimod skyldes det høje bidrag fra driftsenergiforbruget at den ene bygning har et forholdsmæssigt højt varmebehov fra fjernvarme.

Generelt kan spredningen i klimapåvirkninger fra driftsenergiforbruget til dels begrundes i sammensætningen af energi, som tidligere beskrevet, men også i størrelsesordenen for energibehovet. Her kan forskelle i energirammen og muligheden for at få tillæg til energirammen have indflydelse på driftsenergibehovet. For case-bygningerne, foruden de tre cases der er ekstreme, varierer påvirkningerne fra driftsenergiforbruget mellem 65 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup> og 154 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup> (over en 50-års betragtningsperiode) (se figur 11).





## 5 RESULTATER FRA LCA VED 80-ÅRS BETRAGTNINGSPERIODE

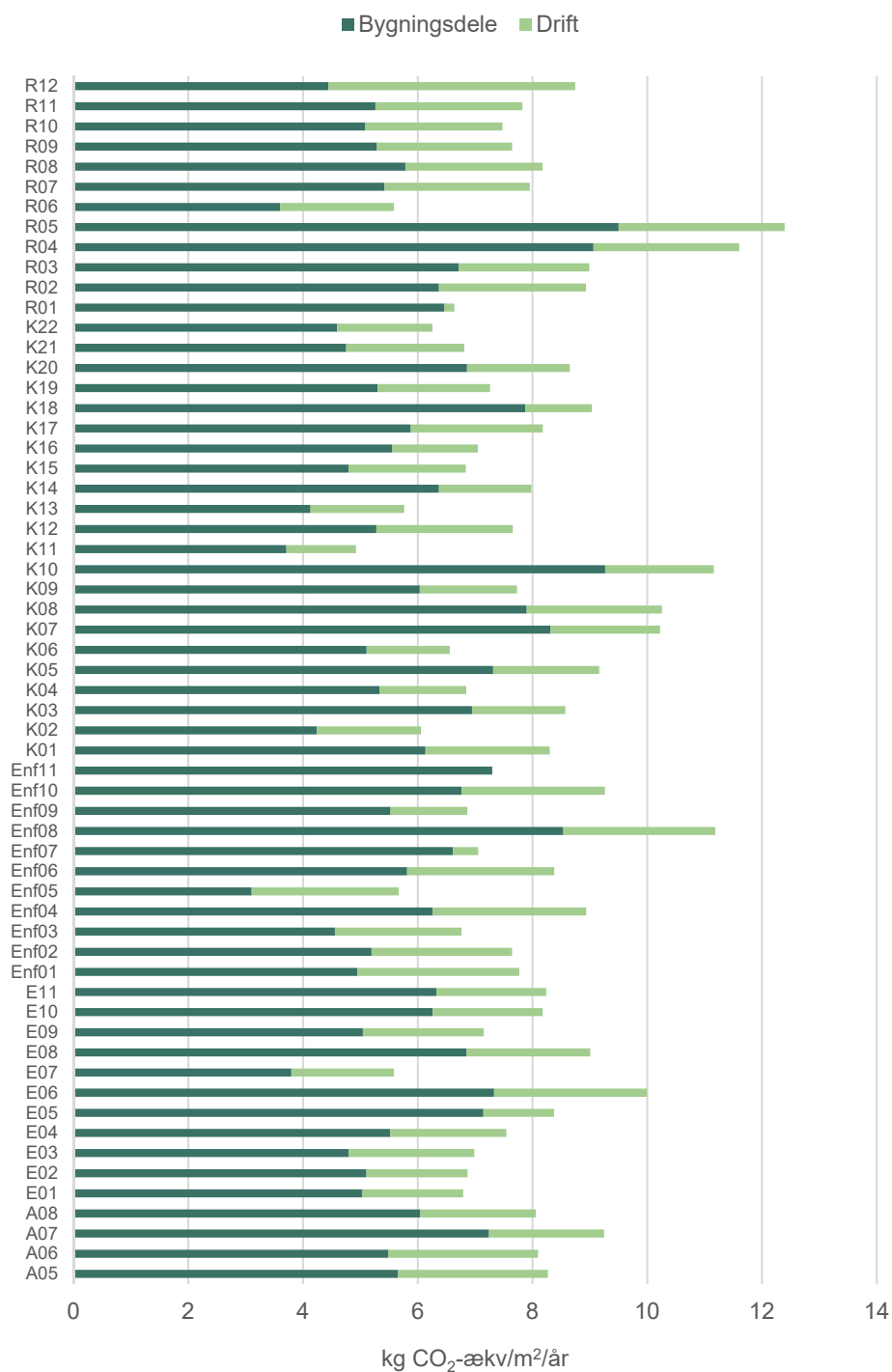
### 5.1 Resultater fra LCA af case-bygninger

I dette afsnit vises resultaterne for alle case-bygninger ved en 80-års betragtningsperiode i kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup> eller kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år. Resultaterne inkluderer alle 60 case-bygninger, hvor der er korrigeret for manglende data på tekniske installationer, som beskrevet i afsnit 3.2.

Figur 12 viser påvirkningerne fra case-bygningerne regnet over en 80-års betragtningsperiode og vist pr. m<sup>2</sup>/år. Det ses af figuren, at der er stor variation mellem case-bygningernes samlede klimapåvirkninger, hvor nogle bygninger har op til 2,5 gange større påvirkninger fra både materialer og drift end andre bygninger (varierende fra 4,92 til 12,39 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år). Yderligere fremgår det af figuren at påvirkningerne fra bygningernes materialer typisk er 2-4 gange højere end påvirkningerne fra driftsenergiforbruget. Påvirkningerne fra materialerne varierer fra 3,11 til 9,50 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år, hvor påvirkningerne fra driftsenergiforbruget varierer fra 0,17 til 4,30 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år.

Ligesom for resultaterne for en 50-års betragtningsperiode er det vigtigt at være opmærksom på at den reelle påvirkning fra driftsenergiforbruget og fra materialerne sandsynligvis vil være højere end den beregnede. Igen skyldes det at driftsenergiforbruget er baseret på data fra energirammeberegningen, hvilket som regel er underestimeret i forhold til det reelle forbrug, samt at ikke alle livscyklusfaser er medtaget i beregningen, hvorfor påvirkningen fra materialer reelt vil være højere.

Det bemærkes yderligere at case-bygning Enf11 ingen påvirkning har fra drift, fordi den ingen data har for driftsenergiforbruget.



**FIGUR 12.** Klimapåvirkninger fra de 60 case-bygninger over en 80-års betragtningsperiode fordelt på materialer og drift. Enf11 har ikke data for drift, derfor vises kun resultatet for materialer.

På figur 13 illustreres det, hvordan påvirkningen fra materialerne fordeles på årlig basis. Resultaterne vises på en tidsakse i enheden kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>, hvor det er tydeligt at nogle påvirkninger sker her og nu, mens andre påvirkninger indgår som et scenarie, der først sker i fremtiden. Det ses af figuren, at for de fleste bygninger er materialernes klimapåvirkning størst i år 0, hvor bygningen opføres. Ligesom for den 50-års betragtningsperiode, er der nogle bygninger, der har en lav eller negativ påvirkning i år 0, men til gengæld en høj påvirkning i år 80, hvor betragtningsperioden ender. Dette skyldes at bygningerne indeholder en

større andel af træprodukter, som lagrer biogent carbon resulterende i en lav påvirkning i produktfasen (se afsnit 4.1 og 3.2 for yderligere forklaring).

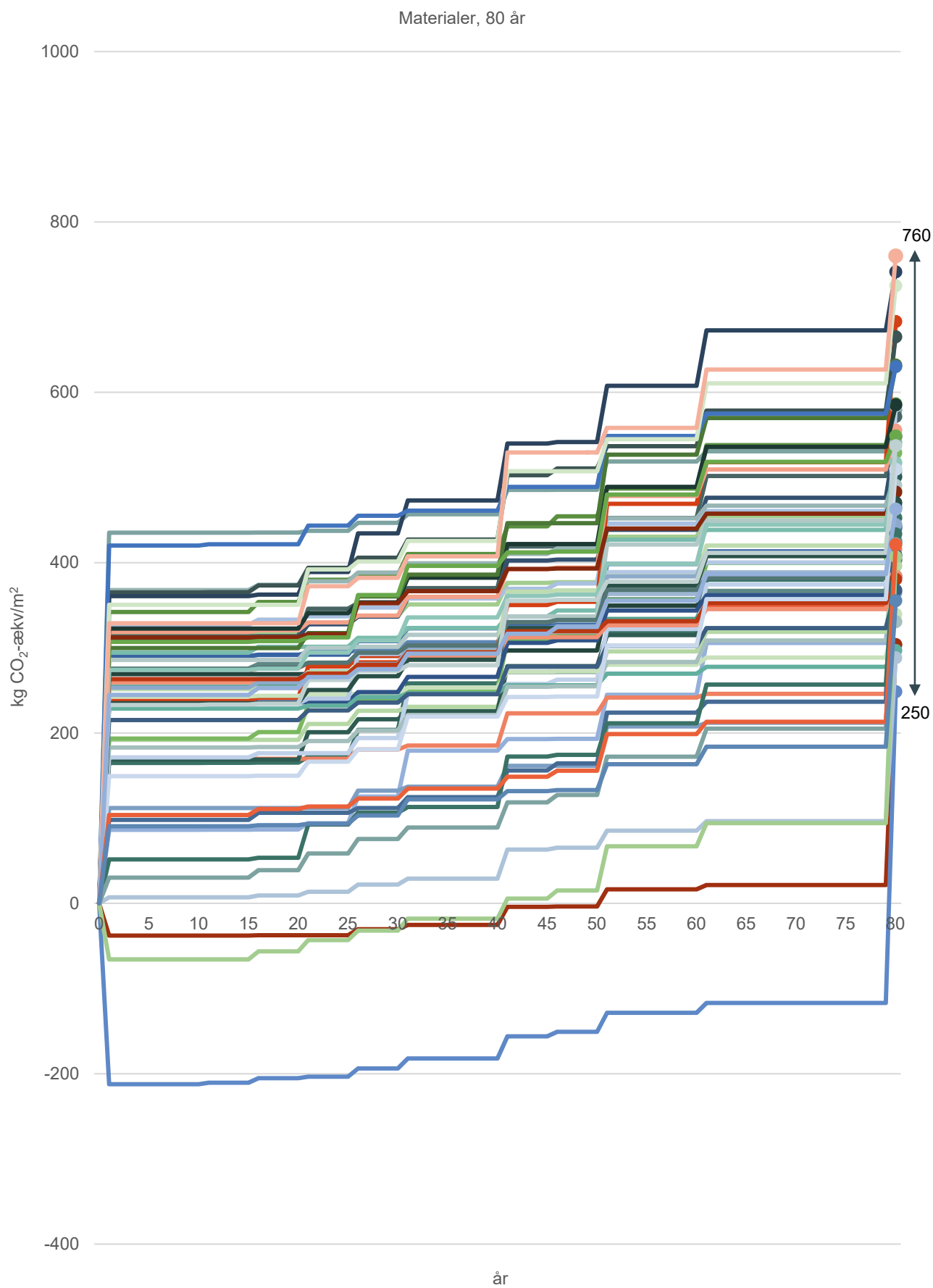
Udskiftningen af materialer (fase B4) fremgår som påvirkninger der sker mellem år 0 og år 80. På figur 13 ses det at påvirkningerne fra udskiftninger sker i år 15, 20, 25, 30, 40, 50 og 60, hvilket typisk svarer til udskiftning af hhv. maling, tagpap, termoruder, solceller, tekniske installationer og overflader (facademateriale, gulve og lofter).

Ved slutningen af betragtningsperioden, i år 80, ses det, at den samlede klimapåvirkning fra materialerne for alle case-bygninger varierer fra 250 til 760 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>. Dette viser, at der er et potentiale for at reducere den samlede påvirkning pr. m<sup>2</sup> via materialevalg.

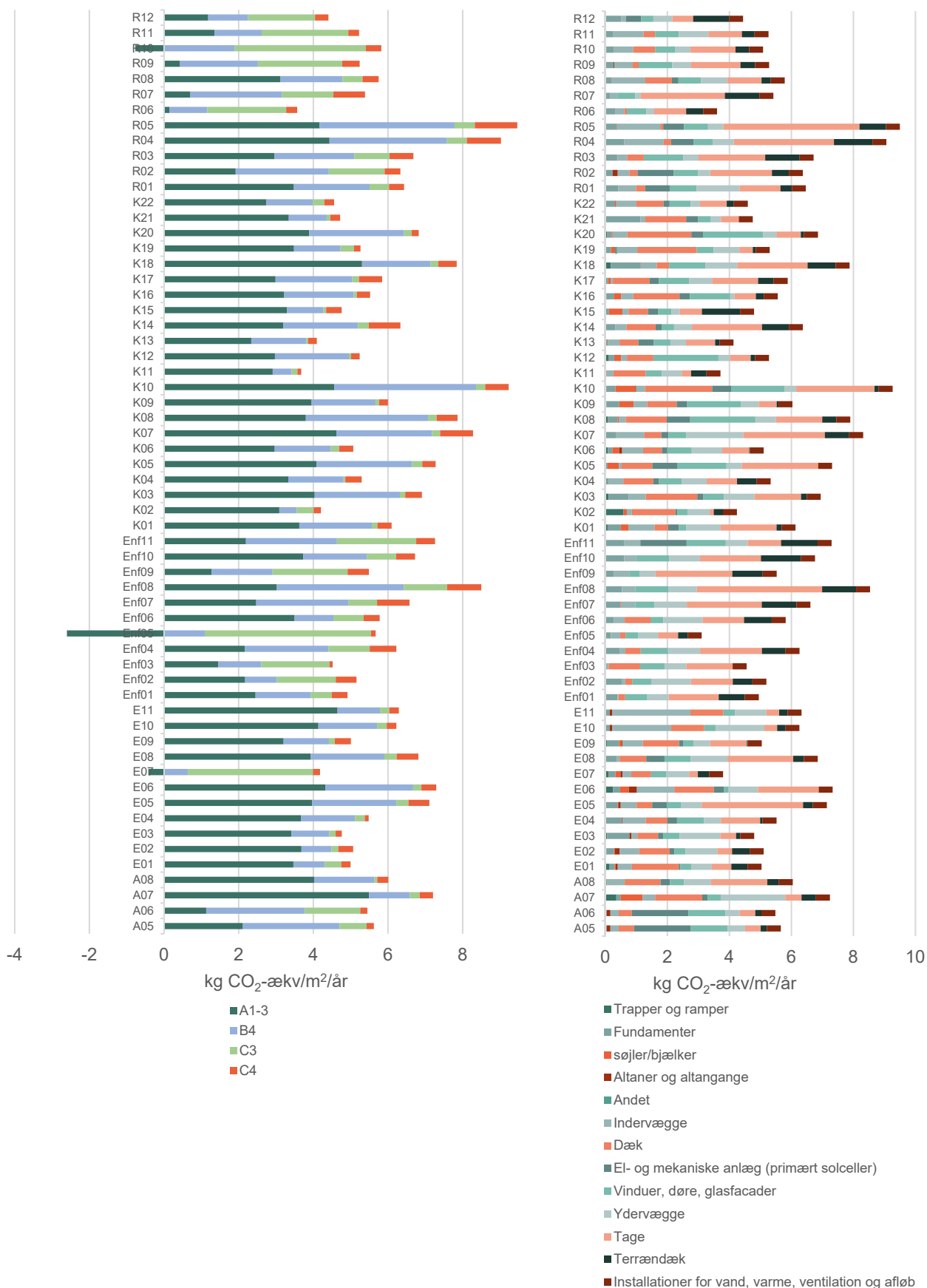
Det ses af figur 14 til højre, at påvirkningerne fra materialerne hovedsagligt stammer fra bygningsdelsgrupperne tage, ydervægge og dæk/terrændæk. Ligesom for den 50-års betragtningsperiode, differentieres der i nogle case-bygninger ikke mellem dæk, terrændæk og tagdæk, hvilket skyldes forskellige valg i LCA'en som typisk ses i de DGNB-certificerede og eksterne projekter (se afsnit 4.1).

Desuden fremgår det af figur 14, at der er store påvirkninger fra grupperne Vinduer, Indervægge, Fundamenter og Solceller (hvor disse er inkluderet). Dette understreger igen at uanset betragtningsperioden er det de store bygningsdelsgrupper, der udgør den største andel af den samlede påvirkning for case-bygningerne og at det er her, det største potentiale for at reducere miljøpåvirkningerne fra bygningerne er.





**FIGUR 13.** Akkumuleret klimapåvirkning fra case-bygningernes materialer over en 80-års betragtningsperiode. Klimapåvirkning angives pr m<sup>2</sup> etageareal. Klimapåvirkningerne for drift er ikke inkluderet i grafen.

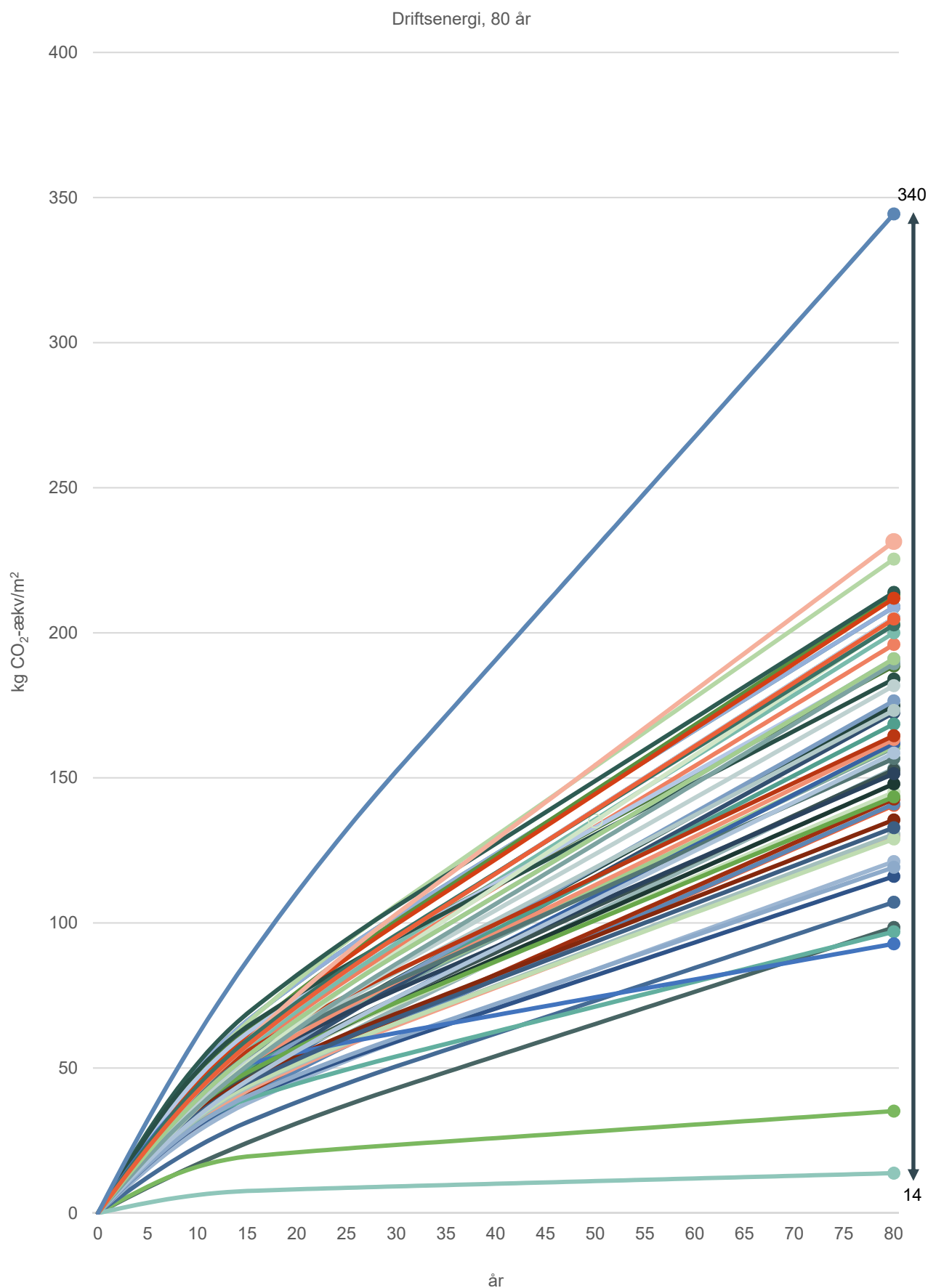


**FIGUR 14.** Materialernes klimapåvirkninger fra de 60 case-bygninger over en 80-års betragtningsperiode fordelt på henholdsvis livscyklusfaser (venstre) og bygningsdelsgrupper (højre). Klimapåvirkningerne for drift er ikke inkluderet i grafen.

Figur 15 viser påvirkninger fra driftsenergien i kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>. Resultaterne vises igen på en tidsakse i enheden kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>, hvor det ses, at driftsenergien aftager over tid. Ligesom for den 50-års betragtningsperiode, skyldes dette at energisammensætningen, som er regnet med i LCAByg, er fremskrevet i henhold til nationale målsætninger om en successiv større andel vedvarende energi i fremtiden, som vil have en lavere klimapåvirkning (se afsnit 4.1).

Det ses af figuren, at der er stor spredning i resultaterne for driftsenergiforbrug (fra 14 til 340 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup> ved 80 år). Igen ses det at spredningen i driftsenergiforbrug inkluderer to cases, som har et markant lavere driftsenergiforbrug grundet opvarmning med varmepumpe, samt en case, der har et markant højere driftsenergiforbrug grundet et højt varmebehov fra fjernvarme (se afsnit 4.1).

Som for resultaterne for en 50-års betragtningsperiode, kan spredningen i klimapåvirkninger fra driftsenergiforbruget til dels begrundes i sammensætningen af energi men også i størrelsesordenen for energibehovet. For case-bygningerne, foruden de tre cases der kan betragtes som ekstreme, varierer påvirkningerne fra driftsenergiforbruget mellem 93 og 231 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup> (ved 80 år) (se figur 15).



**FIGUR 15.** Akkumuleret klimapåvirkning fra case-bygningernes driftsenergiforbrug over en 80-års betragtningsperiode. Klimapåvirkningen angives pr m<sup>2</sup> opvarmet etageareal. Klimapåvirkningerne for materialerne er ikke inkluderet i grafen.



## 6 BETYDENDE FORHOLD FOR KLIMAPÅVIRKNINGER OG REFERENCEVÆRDIER

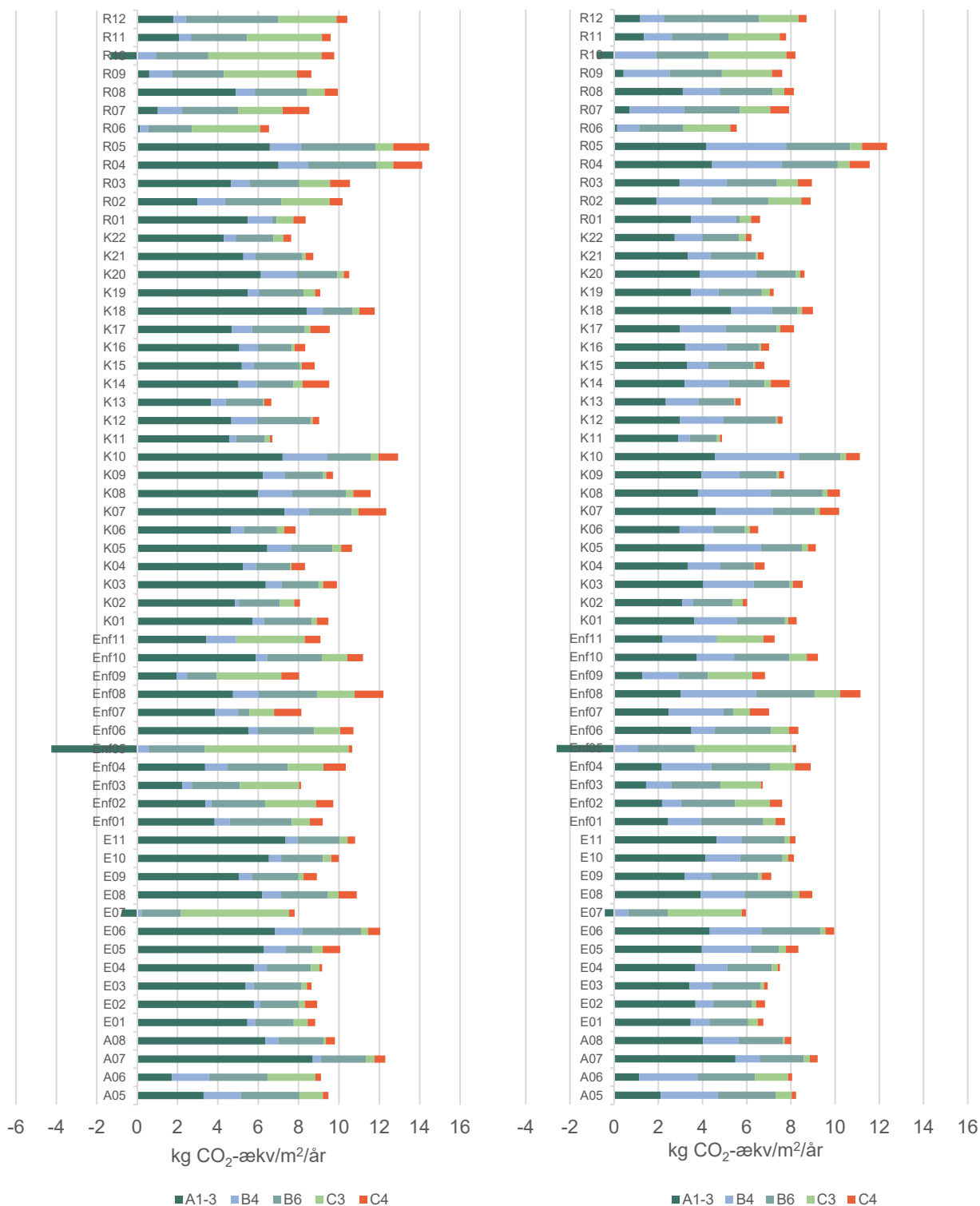
I dette afsnit analyseres resultaterne fra livscyklusvurderingen af de 60 case-bygninger i forhold til udvalgte parametre fundet relevante for en bygnings LCA. Formålet er at undersøge, hvilken indflydelse parametrene har på bygningens klimapåvirkning, og hvilken indvirkning de eventuelt har på udformningen af referenceværdier, med den givne sammensætning af case-bygninger.

### 6.1 Betragtningstidsperiode

Som beskrevet i afsnit 3.2 har betragtningstidsperioden indflydelse på hvor mange udskiftninger, der foretages af byggevarerne og hvor lang en periode, der forbruges driftsenergi i bygningen. Derudover påvirker betragtningstidsperioden også det normaliserede resultat ( $\text{kg CO}_2\text{-ækv/m}^2\text{/år}$ ), da de samlede påvirkninger fordeles ud over antallet af år i betragtningstidsperioden. Det betyder, at selvom de totale påvirkninger ved en lang betragtningstidsperiode er større end ved en kort betragtningstidsperiode, kan påvirkningerne pr. år blive mindre ved en lang betragtningstidsperiode, fordi der er et større antal år at fordele materialepåvirkningerne fra bygningens opførelse ud på. Dette ses af figur 16, som viser påvirkningerne for de enkelte livscyklusfaser for alle 60 case-bygninger over en 50-års og 80-års betragtningstidsperiode.

Figur 16 viser, at påvirkningerne fra produktionen (A1-3) og affaldsbehandlingen (C3-4) bliver lavere ved en længere betragtningstidsperiode. Ved en 50-års betragtningstidsperiode udgør påvirkningerne fra produktionen (A1-3) omkring halvdelen af de samlede påvirkninger, hvorimod de samme påvirkninger ved en 80-års betragtningstidsperiode udgør lidt over 1/3 af de samlede påvirkninger. Påvirkningerne for driftsenergien (B6) bliver også lavere ved den 80 års betragtningstidsperiode. Det skyldes fremskrivningen til mere vedvarende energi i fremtiden. Derimod ses det af figuren at påvirkningerne fra udskiftning af materialer (B4) forøges ved en længere betragtningstidsperiode, fordi der med tiden bliver flere materialer, der skal udskiftes eller fordi materialerne skal udskiftes flere gange. Påvirkningerne fra udskiftningerne udgør omkring 7% af de samlede påvirkninger ved en 50-års betragtningstidsperiode, hvorimod udskiftningerne ved en 80-års betragtningstidsperiode udgør cirka 20% af de samlede påvirkninger. Da udskiftninger kun kan betragtes som scenarier for fremtiden, fordi vi ikke er sikre på antallet af udskiftninger og på påvirkningerne fra produktionen af de nye materialer ved udskiftning i fremtiden, medfører et øget fokus på udskiftningerne flere usikkerheder.

Ydermere bemærkes det, at de cases, der har de laveste og højeste klimapåvirkninger, er de samme uanset om der bruges 50 år eller 80 år som betragtningstidsperiode (se figur 16). Det vil sige at betragtningstidsperioden ikke ændrer betydeligt på rangeringen imellem casene. Dette understøttes yderligere af studiet af Rasmussen et al. (2020).



FIGUR 16. Bygninger 50 (TV) og 80 år (TH). Udskiftninger (B4) får en større betydning for resultatet ved 80-års betragtningsperiode.

I figur 16 ses det at der er cases, der bliver forholdsmeæssigt bedre ved en 80-års betragtningsperiode sammenlignet med en 50-års betragtningsperiode. Dette gælder især casene K02, K11 og A07, hvor her og nu påvirkningerne (A1-3) er relativt høje i forhold til de øvrige livscyklusfaser. Ved en 80-års betragtningsperiode får disse cases en fordel i forhold til ved en 50-års betragtningsperiode, fordi her og nu påvirkningerne kan fordeles ud over et større antal år og dermed får mindre betydning. Omvendt ses det at case-bygninger med en lav

her og nu påvirkning bliver forholds-mæssigt værre ved en 80-års betragtningsperiode sammenlignet med en 50-års betragtningsperiode. Dette drejer sig fx om casene R07 og R09, hvor det ses at her og nu påvirkningerne ikke reduceres i samme størrelsesorden ved en 80-års betragtningsperiode i forhold til en 50-års betragtningsperiode fordi her og nu påvirkningerne allerede er lave. Disse bygninger gavnes derved ikke betydeligt af at kunne fordele her og nu påvirkningerne ud på flere år.

Ydermere er der cases, som ikke nødvendigvis har en lav her og nu påvirkning, men som alligevel bliver forholds-mæssigt værre ved en 80-års betragtningsperiode sammenlignet med en 50-års betragtningsperiode. Dette gælder især for Enf08, hvor den forholds-mæssigt værre påvirkning ved en 80-års betragtningsperiode skyldes at der sker store udskiftninger, som kun forekommer efter 50 år og dermed øger påvirkningen betydeligt. I dette tilfælde skyldes det at tagisoleringen har en relativ høj klimapåvirkning pr. m<sup>3</sup> og da den udskiftes efter år 50 øges påvirkningen betydeligt. Generelt skyldes de meget forøgede påvirkninger ved en 80-års betragtningsperiode at der forekommer større udskiftninger af især tagisolering og facadematerialer.

Store påvirkninger fra udskiftninger skyldes typisk at der er materialer med en kort levetid, som skal udskiftes flere gange i løbet af betragtningsperioden. Dette drejer sig især om tagpap, som viser sig at have en stor effekt på den samlede klimapåvirkning ved lange betragtningsperioder fordi det udskiftes hvert 20. år, jf. levetidstabellen i SBI-2013:30 (Aagaard, Brandt, Aggerholm, & Haugbølle, 2013). En oversigt over hvilke byggevarer der udskiftes ved de forskellige betragtningsperioder kan ses i tabel 4. En endnu længere betragtningsperiode på fx 120 år vil betyde øgede påvirkninger fra udskiftninger af fx bærende konstruktioner.



**TABEL 4.** Udskiftninger af byggevarer ved en 50 års, 80 års og 120 års betragtningsperiode jf. SBI-2013:30 (Aagaard, Brandt, Aggerholm, & Haugbølle, 2013).

	Udskiftninger af byggevarer		
	50-års betragtningsperiode	80-års betragtningsperiode <sup>a</sup>	120-års betragtningsperiode <sup>b</sup>
<i>Terrændæk og fundamenter</i>	Ingen	Isolering	Terrændæk
<i>Tag</i>	Overflade i tagpap, plast og træ Isolering i plast og biobaserede materialer	Overflade i beton, tegl og metal Isolering i mineraluld	Overflader i natursten
<i>Ydervægge</i>	Termoruder Overflade i maling	Vinduesrammer Overflader i metal og træ Isolering i plast og biobaserede materialer	Bærende konstruktioner i porebeton Overflader i beton og tegl Isolering i mineraluld
<i>Etagedæk</i>	Gulvbelægning i linoleum Nedhængte lofter	Påbyggede lofter	Bærende konstruktioner i træ og letklinkerbeton Gulvbelægning i træ, beton og tegl Loftoverflader i beton og træ
<i>Indervægge</i>	Overflader i træ	Overflader i gips og metal	Konstruktion i beton, metal og træ Overflader i beton og tegl
<i>Tekniske installationer</i>	Forsyningsanlæg VVS Forbrugsanlæg	Distributionsanlæg	Elforsyning

<sup>a</sup> byggevarer, der udskiftes ved 50-års betragtningsperiode vil i mange tilfælde udskiftes yderligere en eller flere gange ved 80-års betragtningsperiode (afhængigt af levetiden på byggevarerne)

<sup>b</sup> byggevarer, der udskiftes ved 50- eller 80-års betragtningsperiode vil i mange tilfælde udskiftes yderligere en eller flere gange ved 120 års betragtningsperiode (afhængigt af levetiden på byggevarerne)

I de følgende afsnit undersøges hvordan andre betydende parametre kan påvirke resultaterne af bygnings-LCA'erne og dermed referenceværdierne. Da klimapåvirkningen ved en lang betragtningsperiode i højere grad baseres på fremtidsscenarier, og dermed indebærer flere usikkerheder, samt da den kommende europæiske ordning Level(s) peger på en 50-års betragtningsperiode (se afsnit 3.2), tages der i de efterfølgende undersøgelser udgangspunkt i en betragtningsperiode på 50 år.

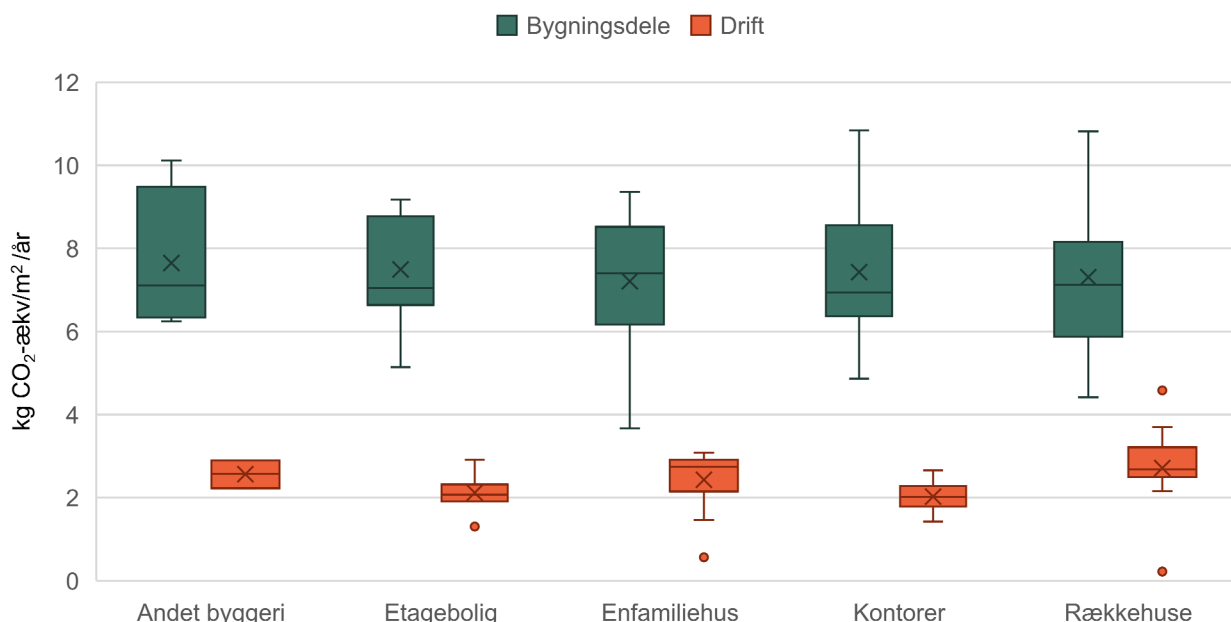
## 6.2 Bygningstype og udformning

Her undersøges klimapåvirkningen af forskellige bygningstyper med udgangspunkt i eksemplerne boliger og kontorer ved en 50-års betragtningsperiode, som er i overensstemmelse med den kommende udgave af Level(s). Målet er at analysere mulige sammenhænge mellem bygningstype og klimapåvirkning, som kan give anledning til forskelle i bygningernes klimapåvirkning og dermed differentierede referenceværdier. Derudover undersøges bygningens udformning med udgangspunkt i bygningstyperne.

I figur 17 vises påvirkninger fra bygnings-casene fordelt på bygningstyper. Figuren viser resultater for de tre boligtyper, kontor samt andet byggeri i kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år over de 50 år bygningens påvirkning beregnes for. På figuren ses det, at der ikke er stor forskel på påvirkninger for forskellige bygningstyper, hverken i påvirkninger for driftsenergi eller materialer.

Påvirkninger fra driftsenergien ligger lidt lavere for kontor- og etageboligbyggeriet. Det skyldes et lavere varmemeforbrug i disse bygninger, herunder særligt i kontorbygningerne. Derudover har etageboligerne med solceller et reduceret behov for el.

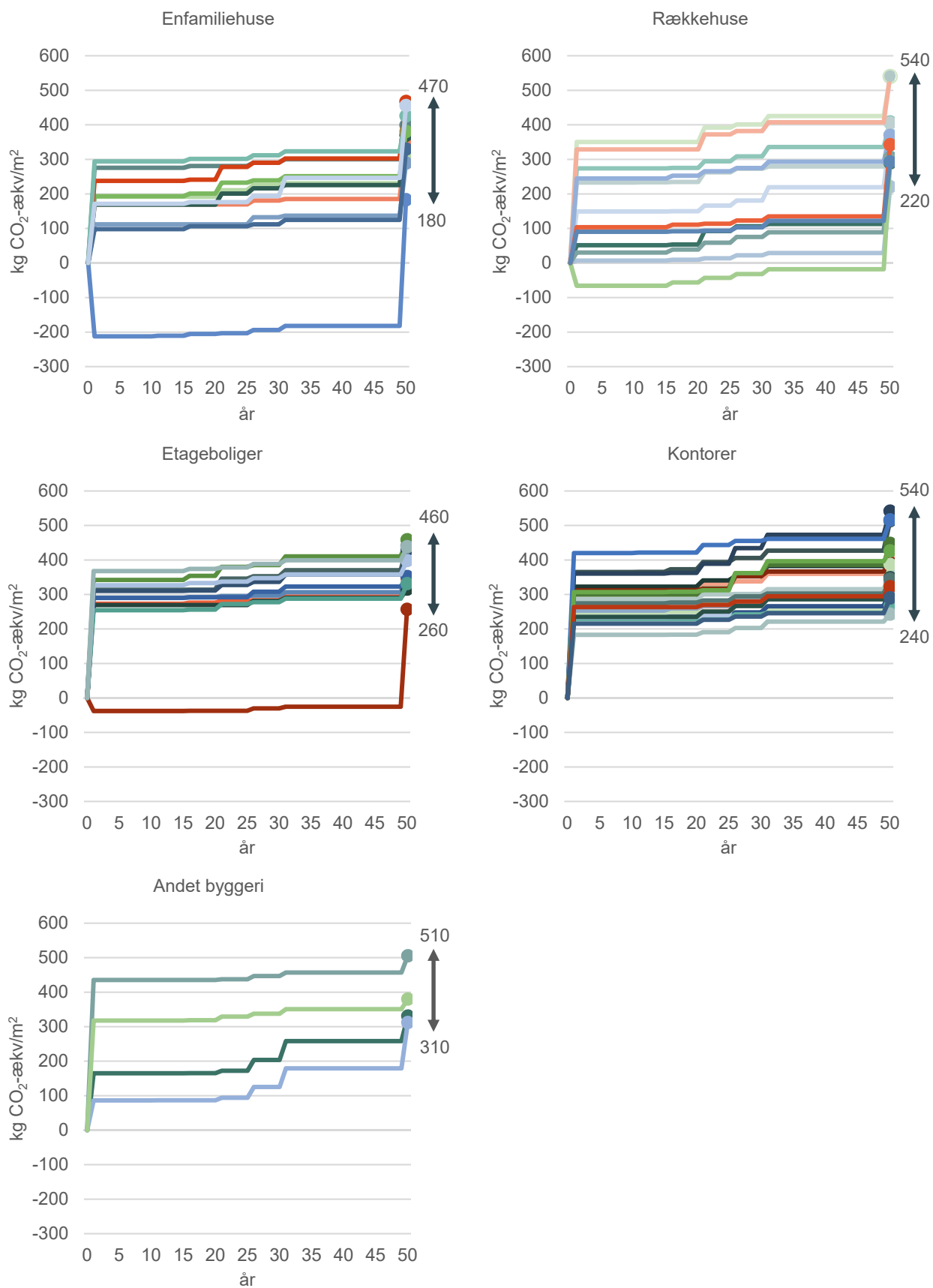
Der ses en stor spredning i påvirkninger for materialer for alle bygningstyper med et spænd fra 3,7 til 10,8 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år. Men når der kigges på middelværdi og medianværdier, er der ikke stor forskel i resultaterne for bygningstyperne: Figuren viser, at medianværdien for materialernes klimapåvirkning for boligerne ligger på 7,4, 7,1 og 7,0 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år for hhv. enfamiliehus, rækkehus og etageboligbyggeri. Medianværdien for enfamiliehuse har den højeste værdi, men ligger kun 7 % højere end medianværdien for kontorer, som har den laveste værdi på 6,9 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år. Ser man i stedet på middelværdien, har enfamiliehuse den laveste middelværdi, mens etageboliger har den højeste. Andet byggeri er kun baseret på fire case-bygninger og dermed et meget lille datagrundlag til at konkludere ud fra. Samlet set giver resultaterne ikke anledning til en klar differentiering på baggrund af bygningstype.



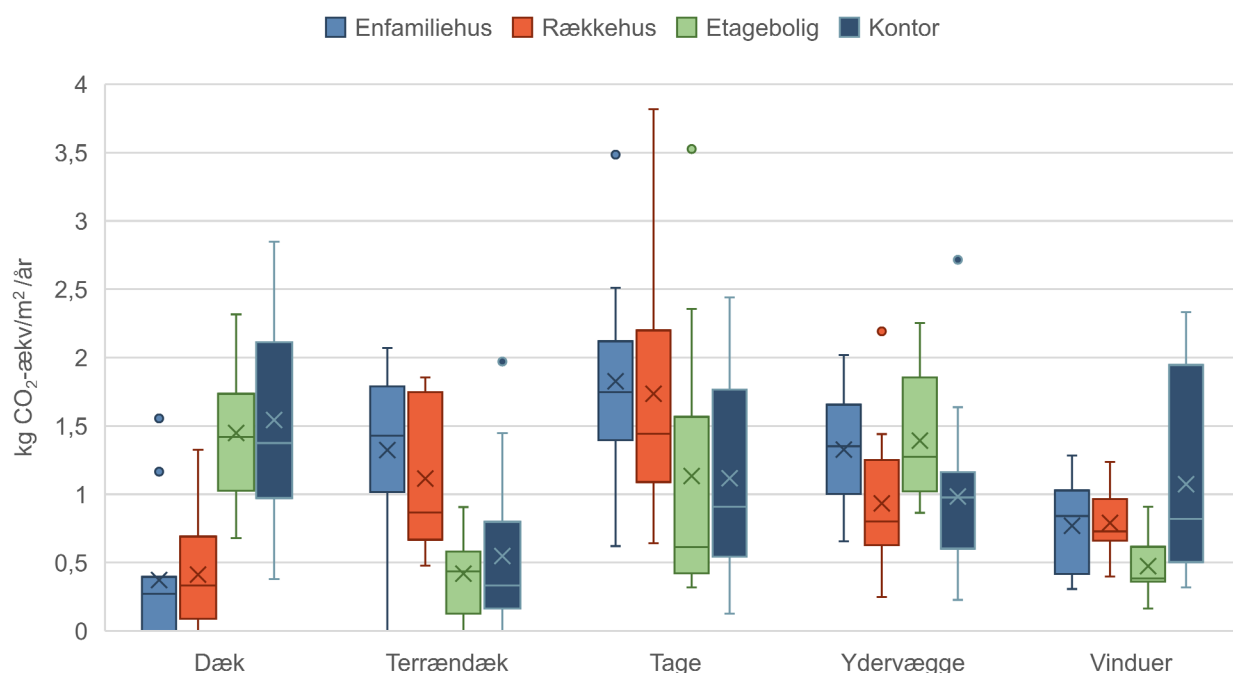
**FIGUR 17.** Klimapåvirkning af bygningsdele og drift ved 50-års betragtningsperiode. Der er ikke stor forskel mellem bygningstyperne. Diagrammet viser 1., 2., og 3., kvartil som de vandrette streger i boksen, krydset i boksen viser middelværdien og halerne udenfor boksen viser variansen. Prikkerne udgør observation for klimapåvirkninger, der ligger udenfor variansen. Resultaterne for andet byggeri skal tages med forbehold idet der kun indgår 4 cases..

Figur 18 viser fordelingen af case-bygningernes påvirkninger som akkumuleret påvirkning over 50 år for hver bygningstype. Det betyder, at figuren viser den umiddelbare påvirkning der sker i år 0, når bygningen bygges, og hvorledes den gradvist stiger i takt med udskiftninger af materialer over de 50 år bygningens påvirkning beregnes for. Figuren viser, at forskellen i klimapåvirkninger inden for hver af bygningstyperne er stor. Den laveste beregnede klimapåvirkning per kvadratmeter bygning ligger på 180 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år for et enfamiliehus og den højeste på 540 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år for både rækkehuse og kontorbygninger. Hvis vi ser bort fra andet byggeri, som har meget få cases, så varierer den samlede klimapåvirkning fra 1,8 gange for etageboligbyggeri til 2,6 gange for enfamiliehuse.

Enfamilie- og rækkehuse har en større andel af indlejrede påvirkninger fra affaldsprocessen i fase C, som er den sidste stigning af kurven i år 50, se også figur 9 i afsnit 4. Hovedårsagen er, at begge bygningstyper har en større andel af cases med træprodukter (se tabel 1 eller Bilag I, tabel 8). Som beskrevet i afsnit 3.2 lagrer træprodukter biogent carbon ( $\text{CO}_2$ ), som frigives igen i affaldsprocessen. Denne frigivelse i affaldsprocessen medregnes i LCA'en uanset om træet antages at blive forbrændt, genbrugt eller genanvendt ved endt levetid. Det er derfor vigtigt at forholde sig til, at bygninger med en stor andel biogent materiale vil have en lav klimapåvirkning i produktfasen (fase A1-A3) og højere påvirkning ved endt levetid (fase C3-C4).



**FIGUR 18.** Klimapåvirkning af materialer akkumuleret over 50 år. Hver kurve/farve udgør 1 case. I de akkumulerede grafer ses større spredning i hvornår påvirkningerne sker for de enkelte case-bygninger.



**FIGUR 19.** Udvalg af bygningsdelsgruppers påvirkninger fordelt på bygningstyper ved 50-års betragtningsperiode. Bygningstypen Andet byggeri er ikke medtaget, da der ikke er nok case-bygninger i denne kategori. Diagrammet viser 1., 2., og 3., kvartil som de vandrette streger i boksen, krydset i boksen viser middelværdien og halerne uden for boksen viser variansen. Prikkerne udgør observation for klimapåvirkninger, der ligger uden for variansen.

Figur 19 viser udvalg af bygningsdelsgruppers klimapåvirkning fordelt på bygningstyper. Figuren afspejler bygningstypernes udformning i forhold til fx højde, kompakthed og facade-type.

De undersøgte etageboliger og kontorer er alle over 1000 m<sup>2</sup> og har flere etager sammenlignet med enfamilie- og rækkehuse, som har et væsentlig mindre etageareal og kun 1-2 etager. Denne forskel kommer til udtryk i en karakteristisk fordeling af påvirkninger fra terrændæk, dæk og tage. Som fleretagers bygningstyper har kontorer og etageboliger høje påvirkninger fra dæk, men lavere påvirkning fra terrændæk og tage. Forskellen er dog mindre signifikant for tage end for terrændæk. Dette skyldes, at der i højere grad laves flade tage på højt byggeri med brug af trykfast isolering og tagpap, som begge er materialer med høj klimapåvirkning.

Inden for ydervægge og vinduer har enfamiliehusene de største påvirkninger. Det kan bl.a. skyldes den store andel klimaskærm i forhold til etageareal. Ligesom i de andre bygningsdelsgrupper, er der en stor spredning i resultaterne, særligt for vinduer i kontorbygninger. Dette skyldes at nogle – men ikke alle – case-bygninger har glasfacader, som giver høj påvirkning.

Samlet set sker der altså et skift i påvirkningerne inden for bygningsdelsgrupperne. Når alle case-bygninger betragtes udligner resultaterne sig, hvilket betyder at der ikke er væsentlig forskel mellem bygningstyperne. Dette vil dog ikke nødvendigvis være gældende for de enkelte projekter, og bygningens udformning er derfor stadig af betydning i forhold til klimapåvirkningerne. De præcise sammenhænge er ikke undersøgt i dette projekt, men vil være relevant at gøre i fremtiden.

Materialesammensætningen er også af betydning, som vi så for tagopbygning, glasfacader og træbyggeri. Bygningstyperne er udvalgt til at afspejle materialevariationen i det gængse byggeri, men udgør ikke en statistisk repræsentativ materialsammensætning for danske bygningstyper. Sammensætningen af materialer i case-bygningerne er beskrevet i tabel 1.

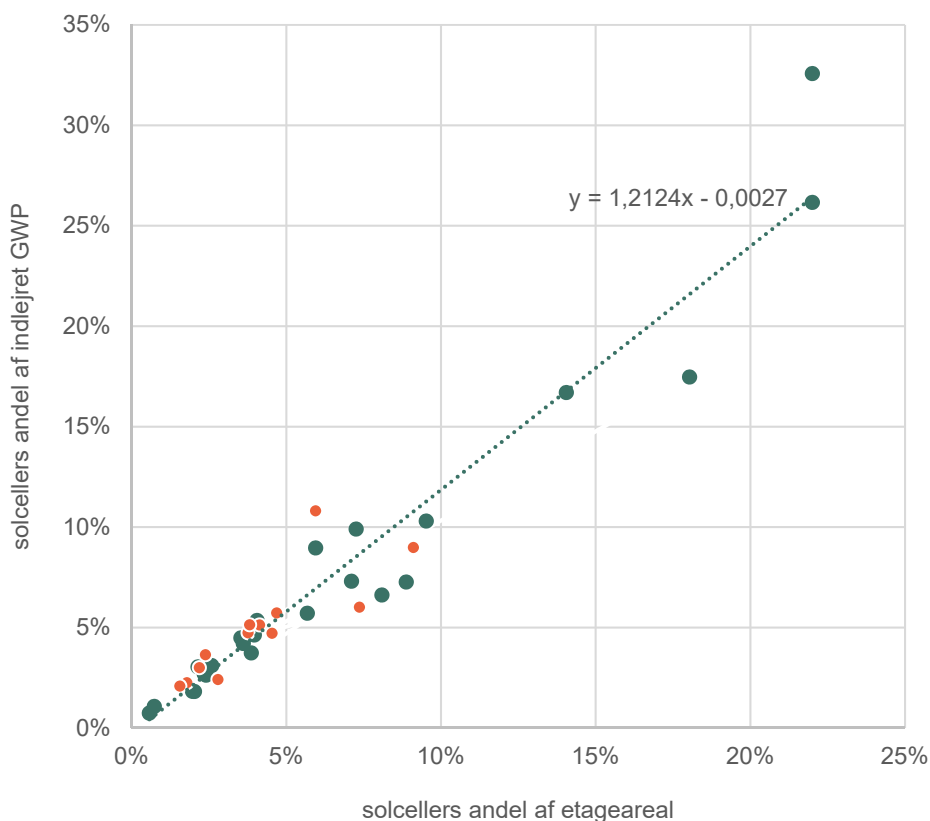
Bygningstyperne viser ikke væsentlig forskel i påvirkninger. Derfor opstilles der ikke forskellige referenceværdier for bygningstyper.

## 6.3 Solceller

I dette afsnit undersøges, hvilken indflydelse solceller har på case-bygningers klimapåvirkning, og deraf hvordan de kan påvirke referenceværdien. Undersøgelsen tager udgangspunkt i en 50 års betragtningsperiode i overensstemmelse med den foreløbige udgave af Level(s).

37 af de 60 case-bygninger indeholder solceller til produktion af el i bygningen. Andelen af solceller i bygningerne varierer dog en del. Hvis man ser på solcellearealet i forhold til bygningens etageareal, kan man se, at solcellearealet svarer til mellem 1 % og 22 % af etagearealet.

Solceller står for en stor del af påvirkningerne fra bygningsdele. Figur 20 viser forholdet mellem solcellearealet i forhold til etageareal og andelen af solcellers påvirkninger i forhold til bygningens samlede påvirkninger fra bygningsdele. Her ses et forhold som bedst kan beskrives lineært, som vist i figuren. Det vil sige, at hvis vi tilføjer et areal solceller, der svarer til 10% af bygningens etageareal, kan vi forvente at solcellerne vil stå for ca. 12 % af bygningens samlede påvirkninger fra bygningsdele.

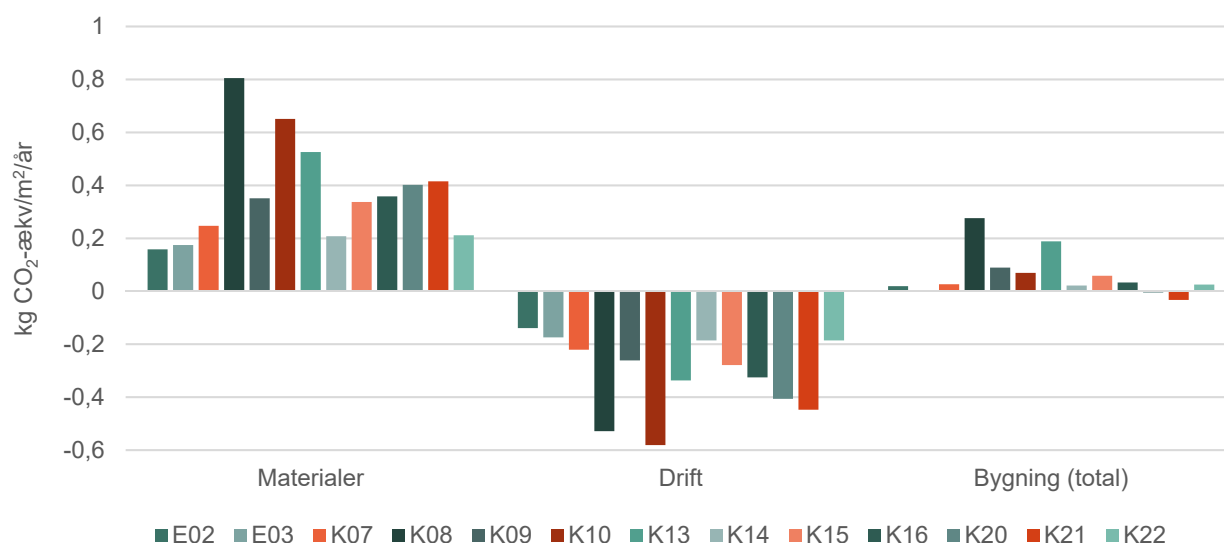


**FIGUR 20.** Mængden af solceller i forhold til solcellers andel af indlejret GWP over en 50-års betragtningsperiode. Påvirkninger fra solceller kan have stor betydning for bygningen samlede miljøpåvirkninger. Casene markere i orange tilsvarende case-bygninger i figur 21.

Ved implementering af solceller i en bygning reduceres bygningens energibehov fra energinet. Når bygningen har lokal produktion af el, fratrækkes den lokale produktion fra bygningens samlede påvirkninger.

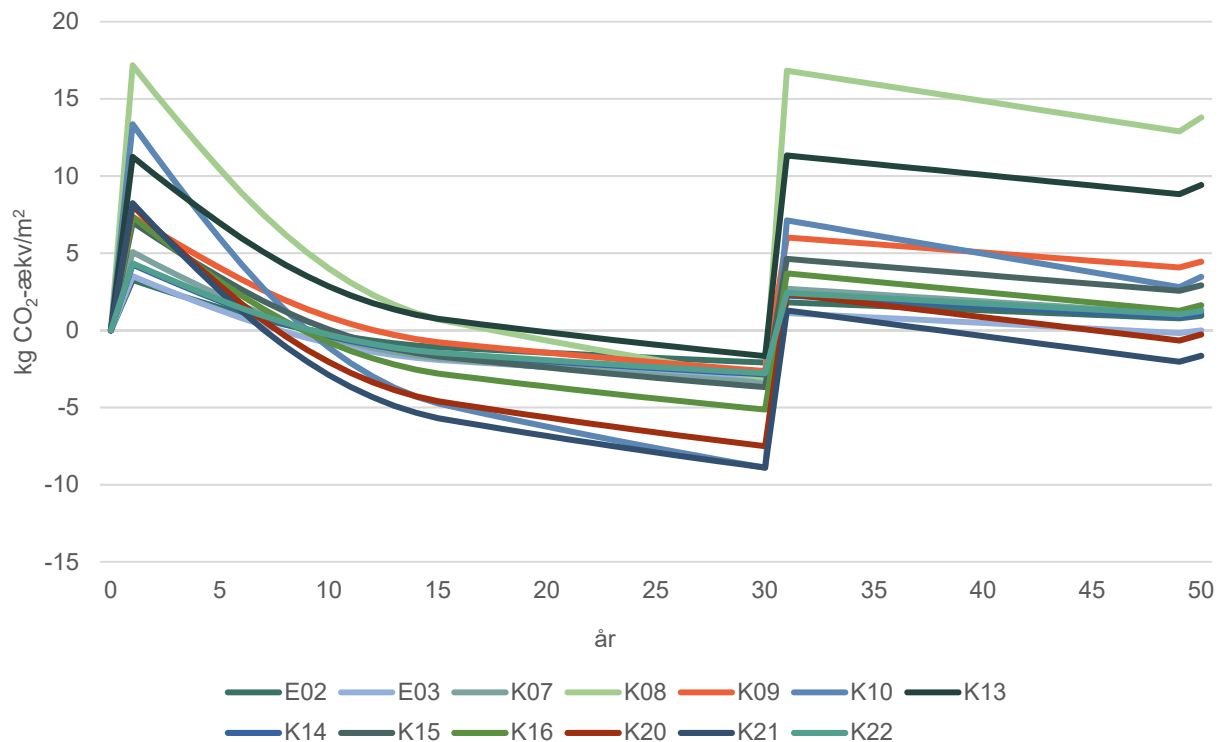
gens energibehov i LCA-beregningen, hvilket resulterer i en lavere eller negativ klimapåvirkning fra elforbruget til drift. Til gengæld tilføjes produktionen af solcellerne til bygningens materialeforbrug, som derfor får øgede klimapåvirkninger. De øgede påvirkninger fra materialer og reduktionen i påvirkninger fra drift kan ses i figur 21 for de udvalgte case-bygninger beregnet over 50 år. Sammenlagt giver dette ændringen i bygningens samlede påvirkninger ved implementering af solceller til højre i figuren. Her ses det, at bygningens samlede påvirkninger generelt stiger lidt ved implementering af solceller, fordi materialepåvirkningerne opvejer besparelsen af påvirkninger i drift.

En af grundene til, at solceller ikke har en væsentlig indvirken på klimapåvirkningerne er, at den el fra el nettet, som solcellerne substituerer, allerede består af en stor andel vedvarende energi. Samtidig vil andelen af vedvarende energi i el-nettet stige frem mod 2050, hvilket også er medregnet i LCA'en. En anden grund er, at der regnes med en levetid på 30 år for solceller, hvilket betyder at der sker en udskiftning i løbet af betragtningsperioden.



FIGUR 21. Ændring i GWP når solceller implementeres i case-bygningerne.

Der er dog en mulighed for, at solceller vil være fordelagtige i de første år frem til år 2050. På figur 22 kan det ses, at de solceller, der blev installeret ved bygningens opførelse (år 0), når at tjene sig ind i forhold til klimapåvirkninger i løbet af 8-19 år. Til gengæld vil installationen af de nye solceller ved udskiftningen om 30 år ikke med sikkerhed nå at tjene sig ind (figur 22). Udskiftningen af solcellerne tjener sig ikke nødvendigvis ind pga. den høje andel af vedvarende energi i elforsyningen, som forventes at være til stede om 30 år, samt pga. at klimapåvirkningen ved udskiftningen i år 30 er baseret på det samme datasæt som for år 0 (hvilket desuden gælder alle komponenter og materialer der udskiftes). Det er dog hverken muligt at forudse hvorledes solceller bliver fremstillet om 30 år eller at inkludere den slags fremskrivning i bygnings-LCA'er i dag, hvorfor dette er en nødvendig antagelse.



**FIGUR 22.** Solcellers klimapåvirkning på case-bygninger over tid. Figuren viser den akkumulerede sum af materialepåvirkninger og reduceret driftspåvirkninger fra solcellernes el-produktion. Solcellernes el-produktion har størst effekt på klimapåvirkningen de første ca. 10 år, fordi der herefter antages en større andel af vedvarende energi i el-mikset. Solcellerne udskiftes i bygningen efter 30 år, hvilket betyder at solcellernes klimapåvirkning i de fleste tilfælde ender med at blive positiv.

Når solcellerne ses i sammenhæng med bygningers samlede klimapåvirkning, ligger ændringen i påvirkninger for den samlede bygning i de fleste tilfælde under 1 % og i enkelte tilfælde op til 3 %. Om der medtages solceller i beregningen har derfor ikke væsentlig betydning for bygningens samlede påvirkninger for GWP, når der beregnes over 50 år. Figur 22 indikerer, at solceller har en positiv virkning i den grønne omstilling i det næste årti, men at det er usikkert om de stadig har det efter 2030. Det afhænger både af den måde hvorpå solceller fremstilles i fremtiden og udviklingen i energiforsynings klimapåvirkning. Disse beregninger indikerer også at det bør overvejes om udskiftning af solceller efter 30 år bør undlades i LCA beregninger for bygninger, hvilket dog vil være en fravigelse fra, hvad der foreskrives i de europæiske standarder. På sigt vil mulighed for fremskrivning i produktion af byggematerialer forhåbentlig kunne indarbejdes i bygnings LCA.

For beregning af referenceværdier har det derfor ikke stor betydning om solceller medtages, så længe referenceværdien favner alle livscyklusfaser. Hvis referenceværdien derimod er opdelt på fx bygningsdele (fase A1-3, B4, C3, C4) og drift (fase B6), vil case-bygningerne med solceller bidrage til en øget påvirkning for bygningsdele og en reduktion i påvirkninger for drift.

## 6.4 Energiklasse

Case-bygningerne er opført efter kravene til energiklasse 2010, 2015 og 2020. I dette afsnit undersøges det, hvor stor indflydelse energiklassen har på klimapåvirkningerne for en bygning, og hvilken indflydelse det har på referenceværdien. Her analyseres klimapåvirkninger for case-bygningerne set over de forskellige energiklasser, hvilket holdes op imod et enkelt



eksempel; hvor to tilsvarende bygninger med hhv. energiklasse 2015 og 2020 sammenlignes. Analyserne tager udgangspunkt i en 50 års betragtningsperiode, som er i tråd med den kommende udgave af Level(s).

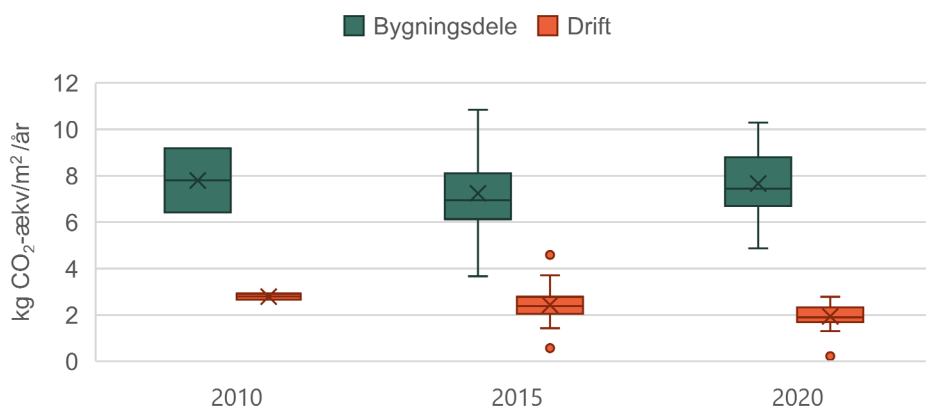
I tabel 5 ses det hvor mange case-bygninger fra energiklasse 2010, 2015 og 2020, der er inkluderet i analysen. Energiklassen for 2015, som både kan være Lavenergienergi 2015 i BR10 og mindstekrav i BR15 og det nuværende BR18, dominerer andelsmæssigt. Det kan også ses, at lavenergienergi, dvs. Bygningsklasse 2020 jf. BR10/15 og lavenergienergi jf. BR18, udgør en større andel i casene i forhold til den faktiske andel af lavenergienergi, der bliver bygget i dag, som i 2018 lå på 10-12 % (AAU BUILD og Energistyrelsen, 2019).

**TABEL 5.** Oversigt over energiklasser for case-bygningerne inkluderet i analysen.

	<b>Antal cases</b>
<b>Energienergi 2010</b>	2
<b>Energienergi 2015</b>	39
<b>Energienergi 2020</b>	19

I figur 23 ses det, at der er små forskelle på de indlejrede påvirkninger for case-bygningerne med energiklasse 2010, 2015 og 2020. De indlejrede påvirkninger udgør gennemsnitligt 7,79 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år for klasse 2010, 7,24 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år for klasse 2015 og 7,66 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år for klasse 2020 bygningerne. Det er dog vanskeligt at konstatere et mønster i påvirkningerne fra bygningerne opført efter energiklasse 2010, da der kun er inkluderet to bygninger med energiklasse 2010 i denne analyse. Hvis bygningerne fra energiklasse 2015 og 2020 udelukkende betragtes, ses det, at de indlejrede påvirkninger stiger i en størrelsesorden af 5 % med energiklassen.

Det ses på figur 23 at påvirkningerne fra driftsforbruget falder støt fra energiklasse 2010 til 2015 og 2020. Igen, hvis kun energiklasse 2015 og 2020 betragtes, falder påvirkningen fra driftsenergi forbruget med 8 %. Den stigende påvirkning fra materialerne og faldende påvirkning fra driftsforbruget kan tilskrives kravene i Bygningsreglementet om et reduceret energibehov. Dette medfører som regel en øget isoleringsmængde i fundament, terrændæk, ydervægge og tag sammen med et lavere driftsforbrug, hvilket resulterer i et skift i påvirkningerne til højere indlejrede påvirkninger og lavere påvirkninger fra driftsforbruget. Dette betragtes dog ikke som en markant forskydning af påvirkningerne.



**FIGUR 23.** Fordeling af påvirkninger fra materialer og drift for energiramme 2010, 2015 og 2020 ved en 50 års betragtningsperiode. Diagrammet viser 1., 2., og 3., kvartil som de vandrette streger i boksen, krydset i boksen viser middelværdien og halerne uden for boksen viser variansen. Prikkerne udgør observation for klimapåvirkninger, der ligger uden for variansen.

Ovenstående analyse inkluderer mange cases med forskellige egenskaber såsom forbrug af mere eller mindre belastende materialer, højere isoleringsmængder og lavere driftsforbrug end nødvendigt iht. energiklassen. Disse forskellige egenskaber kan være med til at påvirke resultaterne, således at det bliver vanskeligt at undersøge indflydelsen af energiklassen på den samlede miljøpåvirkning. Derfor analyseres to konkrete cases som et eksempel på kravene om hvad et lavere energiforbrug betyder for miljøpåvirkningen fra materialer og drift. Til den følgende analyse er der taget udgangspunkt i en bygning opført efter BR15 og energiklasse 2015 samt en bygning opført efter BR18 og energiklasse 2020. For at tydeliggøre betydningen af energiklasserne har det været vigtigt at få så ens bygninger som muligt, hvorfor begge bygninger stammer fra samme ingeniør/entreprenør og er udført i samme overordnede design. De forskellige parametre, som vi har fundet relevante i sammenligningen er listet i tabel 6.

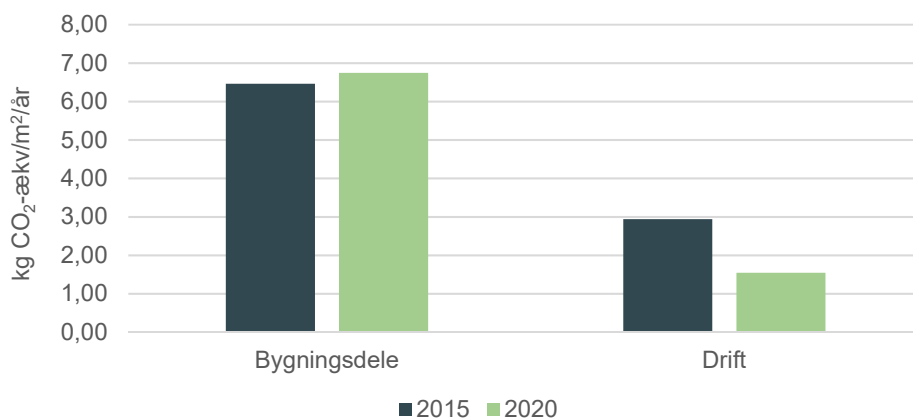
TABEL 6. Oversigt over parametre for to bygninger

	2015 case-bygning	2020 case-bygning
<b>Energi</b> klasse	2015	2020
<b>Bygningsreglement</b>	2015	2018
<b>Driftsforbrug, varme</b>	39,8 kWh/m <sup>2</sup> /år	18,6 kWh/m <sup>2</sup> /år
<b>Driftsforbrug, el</b>	1,8 kWh/m <sup>2</sup> /år	2,5 kWh/m <sup>2</sup> /år
<b>Areal</b>	134 m <sup>2</sup>	179 m <sup>2</sup>
<b>Bærende konstruktioner (ydervæg + tag)</b>	Træ	Træ
<b>Facadebeklædning</b>	Træ	Træ
<b>Tagoverflade</b>	Teglsten	Teglsten
<b>Vinduer</b>	Træ	Træ
<b>Isoleringstykkel</b> se, ydervæg	240 mm	240 mm
<b>Isoleringstykkel</b> se, tag	495 mm	550 mm

Tabel 6 illustrerer, at bygningerne er sammenlignelige i forhold til hvilke materialer, der er anvendt. Bygningsdelenes overordnede opbygning er også ens. Den primære forskel på 2020 i forhold til 2015-bygningen ligger i en øget isoleringstykkel i taget. Dette betyder naturligvis øget forbrug af isolering samt en udvidelse af trækonstruktionen for at indeholde den ekstra isolering. Derudover er der et reduceret driftsforbrug i 2020-bygningen i forhold til 2015-bygningen. Slutteligt, har bygningerne forskellig størrelse, men fordi resultaterne normaliseres til etageareal, forventes det ikke at have væsentlig påvirkning på resultaterne.

På figur 24 ses det, at den største forskel i påvirkningen mellem 2015 og 2020 bygningen ligger i bygningsdriften. I 2020 bygningen er påvirkningen fra driftsforbruget reduceret med 1,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år i forhold til påvirkningen fra driftsforbruget for 2015 bygningen. Derimod er den indlejrede påvirkning fra byggematerialerne kun steget marginalt (cirka 4 %) fra 2015 til 2020 bygningen (fra 6,46 til 6,75 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år)).

Denne undersøgelse viser at det kan have større betydning for den enkelte bygning, særligt i henhold til driftsenergiforbruget, om det er en 2015 eller 2020 bygning. Dog, når alle 60 case-bygninger betragtes, er der ikke fundet nogen væsentlig forskel på resultaterne (se figur 24). Dermed kan det konkluderes, at energiklassen kan være med til at påvirke resultaterne, men at påvirkningen sandsynligvis afhænger ligeså meget af andre parameter såsom materialevalg og konstruktionsopbygning. Det vurderes derfor ikke, at det har nogen stor betydning på referenceværdien, at størstedelen af bygningerne har energiklasse 2015.



**FIGUR 24.** Fordeling af påvirkninger fra materialer og drift for eksempelhus med BR2015 samt energiklasse 2015 og BR2020 samt energiklasse 2020 over en 50 års betragtningsperiode.

## 6.5 Sekundære bygninger

I dette afsnit beskrives, hvordan sekundære bygninger (såsom garager, skure etc.) påvirker bygningernes klimapåvirkning. Der er taget udgangspunkt i en betragtningsperiode på 50 år i overensstemmelse med den kommende udgave af den europæiske ordning Level(s). Ud af de 60 case-bygninger er det kun én af case-bygningerne, som indeholder sekundært byggeri. Det betyder, at case-bygningerne kun i mindre grad afspejler sekundære bygninger. I afsnittet undersøges en case-bygningens påvirkning med henblik på at illustrere metoden ved inddragelse af sekundært byggeri i LCA samt at give et eksempel på, hvor stor indflydelse sekundært byggeri kan have på referenceværdien.

Den undersøgte case-bygning er et enfamiliehus modelleret med og uden garage. Enfamiliehuset har et opvarmet etageareal på 164 m<sup>2</sup> uden garage og 214 m<sup>2</sup> med garage. Garagen er uopvarmet og mindre end 50 m<sup>2</sup> og indgår derfor ikke i etagearealet (§ 455 i Bygningsreglementet). Bygningen er opført med bærende konstruktioner i beton, hvor facaden er lavet i tegl og med en høj tagkonstruktion af træ. Garagen er bygget sammen med hovedbygningen, og derved har garagen samme konstruktionsopbygning i ydervægge og tag som hovedbygningen.

Af resultaterne er det fundet, at garagen er med til at øge den samlede klimapåvirkning for hele bygningen med cirka 1,3 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år (fra 10,2 til 11,4 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år). Dette skyldes, at der anvendes flere byggematerialer når der tilføjes en sekundær bygning. Når påvirkningen derefter normaliseres til kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år fordeles påvirkningen fra byggematerialerne over etagearealet, som er ens for begge scenarier (pga. § 455 i Bygningsreglementet). Derfor bliver flere materialer normaliseret over samme areal, når der tilføjes en sekundær bygning, hvilket giver en højere påvirkning pr. m<sup>2</sup>/år. I dette eksempel skyldes den tydelige stigning i påvirkninger pr. m<sup>2</sup>/år også, at garagen næsten er ligeså materialetung som hovedbygningen. Dette vil langt fra være tilfældet for alle sekundære bygninger, og dermed kan dette scenarie betragtes som en "worst case". I et sådant eksempel, hvor garagen har lige så høje påvirkninger pr. m<sup>2</sup> som hovedbygningen, kan garagebygningen altså betyde 12 % af bygningens samlede klimapåvirkning. Med kun én case-bygning der medtager sekundært byggeri, ud af alle 60 case-bygninger, vil den ekstra påvirkning fra sekundært byggeri kun i lille grad være repræsenteret i referenceværdierne.

## 6.6 Opsummering

Gennem dette afsnit blev det undersøgt, hvordan forskellige parametre påvirker resultaterne for en LCA, samt hvilken indflydelse parametrene har for udformningen af referenceværdier, som regnes på baggrund af de 60 case-bygninger. De parametre, der blev undersøgt er betragtningsperiode, bygningstype, solceller, energiklasse og sekundære bygninger.

Ved undersøgelsen af betragtningsperiodens indflydelse på klimapåvirkningen og referenceværdierne i afsnit 6.1, blev det fundet, at udskiftninger af materialer får større indflydelse ved en lang betragtningsperiode, og at materialer med lang levetid, såsom de bærende konstruktioner, får en mindre belastning ved en lang betragtningsperiode. Derimod sætter en kort betragtningsperiode fokus på her og nu påvirkningerne, da udskiftningerne får mindre betydning. Ud fra dette blev der for undersøgelseerne vedrørende bygningstype, solceller, energiklasse og sekundære bygninger valgt at tage udgangspunkt i en 50-års betragtningsperiode. Dette er også i overensstemmelse med den europæiske ordning Level(s).

Igennem analyserne præsenteret i afsnit 6.2 til 6.5, blev der ikke fundet nogen klar indikation af en generaliserbar indflydelse af de omtalte forhold på bygningers eller bygningstypers klimapåvirkning. Derfor kan der med udgangspunkt i de undersøgte cases ikke argumenteres for en differentiering af referenceværdier på bygningstyper.

Som præsenteret i afsnit 6.2 er der ingen væsentlig forskel på klimapåvirkningen for de forskellige bygningstyper. Dette gælder både den indlejrede påvirkning for materialerne samt påvirkningerne fra driftsenergiforbruget. Der var dog en tydelig forskel i fordeling af påvirkninger på bygningsdelene, som afspejler bygningstypernes udformning, herunder højde, kompakthed og facadetype. Beregningerne viser også, at der er en stor variation i den indlejrede klimapåvirkning inden for hver af bygningstyperne, idet forholdet mellem klimapåvirkningerne varierer fra 1,8 til 2,6 gange per kvadratmeter bygning uanset bygningstype.

Analyserne vedrørende solceller præsenteret i afsnit 6.3 viste, at påvirkningerne steg ganske lidt ved tilføjelse af solceller på en bygning. Dette skyldes at påvirkningerne fra materialerne opvejer de besparelser solcellerne medfører i driftsfasen. Det er derfor ikke af væsentlig betydning for bygningens samlede klimapåvirkninger om solceller medtages eller ej. Dog har det indflydelse på, om påvirkninger ligger i driftsfasen eller materialefasen, hvilket man bør være opmærksom på, når man vælger hvilken type referenceværdi, der skal anvendes. Analyserne viste desuden, at ud fra den viden og data vi har i dag om både solcellers fremstilling og den elforsyning de erstatter, kan solceller bidrage positivt til den grønne omstilling i det næste årti. Beregningerne viser, at det derefter ikke længere giver en positiv effekt at installere solceller, medmindre der sker en betydelig reduktion i klimapåvirkningen ved fremstilling af solceller, eller den grønne omstilling af elforsyningen går langsommere end forventet.

Forskellen mellem bygninger opført efter energiklasse 2010, 2015 og 2020 blev undersøgt i afsnit 6.4. Fra analysen af det samlede antal bygninger fandt vi ud af, at medianværdien for byggematerialerne steg omkring 5 % fra energiklasse 2015 til 2020, mens medianværdien for driftsenergiens klimapåvirkning faldt omkring 8 %. Der var derfor ikke en stor forskel i den samlede klimapåvirkning af bygningscasene som helhed, når vi går fra energiklasse 2015 til 2020. Denne analyse giver derfor ikke anledning til at udvikle forskellige referenceværdier for hhv. 2015 og 2020 bygninger. I den enkelte case vi undersøgte nærmere, fandt vi frem til at med 0,28 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år investering i materialer (indlejret klimapåvirkning) reduceres driften med 1,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv/m<sup>2</sup>/år, hvilket viser en reduktion i den samlede klimapåvirkning i denne enkelte case.

Afsnit 6.5 præsenterer sekundært byggeris betydning for klimapåvirkningen og referenceværdier. Sekundært byggeri er kun medregnet i referenceværdierne for én case-bygning.

Da tilføjjelsen af en sekundær bygning øger mængden af materialer, men ikke referencearealet til beregning af klimapåvirkningen, kan det generelt siges, at forekomsten af sekundære bygninger som regel vil forøge klimapåvirkningen.

## 7 MULIGHEDER FOR UDFORMNING AF REFERENCEVÆRDIER

### 7.1 Muligheder for udformning af referenceværdier

I afsnit 4 og 5 blev klimapåvirkningerne for 60 case-bygninger præsenteret på baggrund af en hhv. 50-års og 80-års betragtningsperiode. Det blev dernæst i afsnit 6 undersøgt hvordan forskellige forhold har betydning for LCA-resultater for bygninger samt for referenceværdier. Disse analyser blev foretaget på baggrund af en 50-års betragtningsperiode, da denne er i tråd med den europæiske ordning Level(s). I dette afsnit præsenteres dog referenceværdier for både en 50-års og 80-års betragtningsperiode for at medtage muligheden for at anvende en længere betragtningsperiode.

LCA'er for 60 case-bygninger er det største antal bygnings-LCA'er, der til dato er samlet i Danmark. Ydermere er casene samlet i det samme beregningsværktøj, LCAByg, og er derfor baseret på ens miljødata og ens metode til beregningen. I indsamlingen af case-bygningerne er det forsøgt at inkludere et bredt udvalg af cases med forskellige kvaliteter iht. bygningstyper, energiklasser, materialer, solcelleareal m.m. Dermed er der taget højde for forskelle mellem bygninger, således at datagrundlaget for referenceværdierne bliver så repræsentativt som muligt. Denne basis giver en tilstrækkelig baggrund for udarbejdelse af referenceværdier til frivillige ordninger. I afsnit 6 undersøges, hvordan forskelle i bygningerne kan påvirke referenceværdier. I takt med at datagrundlaget forøges, og flere bygnings-LCA'er bliver tilgængelige bør referenceværdierne opdateres.

Formålet med referenceværdier for klimapåvirkningen er at skabe en entydig reference for den miljømæssige ydeevne set over en bygnings livscyklus. En fælles reference kan danne grundlag for udbudskrav, offentlig regulering eller andre former for benchmarking, som allerede eksisterer for bygningers energibehov, indeklima eller andre funktionsområder, men mangler for den livscyklusbaserede miljøpåvirkning i Danmark. Arbejdet med udarbejdelse af LCA kan lettes ved at lave en overslags LCA. I Bilag III er det illustreret, hvordan LCAByg funktionerne til overslags-LCA kan bruges til at give en konservativ estimering af bygningens miljøpåvirkninger.

Der er grundlæggende to forskellige tilgange til udformningen af referenceværdier: Top-down eller bottom-up. Ved top-down tilgangen bestemmes referenceværdier ud fra en målsætning fx det politiske mål om at begrænse den globale temperaturstigning til 1,5 grad (Klima-, Energi-, og Forsyningsministeriet, 2015) eller regeringens målsætning om 70 % reduktion inden 2030. Her ville man fastsætte referenceværdien i forhold til, hvad der er nødvendigt for at nå målet. Bottom-up tilgangen tager udgangspunkt i den eksisterende byggeskik og baserer referenceværdien på de almindelige løsninger, som vi har i dag. Her vil man typisk beregne en middel- eller medianværdi og derefter lave målsætninger om gradvise reduktioner. Denne rapport anvender sidstnævnte metode, som er baseret på undersøgelsen af 60 eksisterende case-bygningers klimapåvirkning.

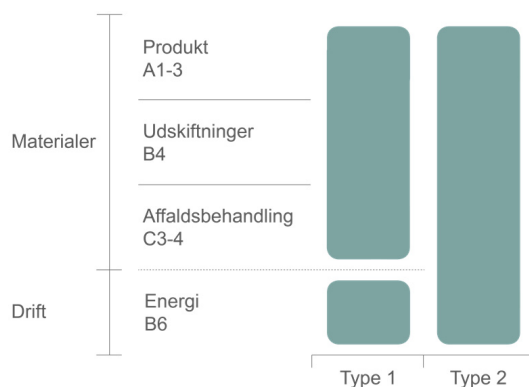
For at bestemme referenceværdierne på baggrund af de 60 case-bygninger, indgår resultaterne af LCA'erne i en statistisk analyse. Mulige referenceværdier er derefter angivet som median, øvre og nedre kvartil, som hver for sig er bud på forskellige ambitionsniveauer.

Bygningerne med de laveste påvirkninger kan også bruges som pejlemærker. Referenceværdierne er angivet for både en 50 års og 80 års betragtningsperiode.

Ydermere belyses et andet metodisk aspekt i udformningen af referenceværdier, nemlig at de kan gælde for hele bygningens livscyklus set over betragtningsperioden, for enkelte faser eller for grupper af faser. Ved de faseopdelte referenceværdier er det vigtigt at være opmærksom på, at en bygning kan indeholde elementer, der flytter påvirkninger fra én fase til en anden. Et eksempel på dette er den biogene carbon. Biobaserede materialer flytter nemlig påvirkninger fra produktfasen (A1-3) til affaldsbehandlingen (C3-4), som beskrevet tidligere i afsnit 3.2, 4.1 og 5.1. Det vil derfor give en skævvridning i referenceværdierne, hvis materialernes påvirkninger opdeles i flere faser. Figur 25 illustrerer to eksempler på, hvordan fleksibiliteten af referenceværdierne kan varieres ud fra livscyklusfaser.

Type 1 har to referenceværdier – én for materialer og én for drift. Her er fleksibiliteten høj inden for de to parametre materialer og drift, men det er til gengæld ikke muligt at kompensere for en høj påvirkning fra materialerne ved at reducere driftsenergien eller omvendt, da disse har hver deres referenceværdi. Det har bl.a. indflydelse på solceller, som flytter påvirkninger fra drift (B6) til materialer (A1-3, B4 og C3-4).

Type 2 er den fuldt ud fleksible referenceværdi, hvor der kun er én enkelt referenceværdi for bygningens samlede miljøpåvirkninger. Denne fleksibilitet giver mulighed for at have høje påvirkninger inden for enkelte livscyklusfaser, så længe det modsvares med en lavere påvirkning i andre livscyklusfaser.



**FIGUR 25.** Eksempler på inddeling i fleksible og opdelte referenceværdier set i forhold til livscyklusfaser. Type 1 er opdelt i to referenceværdier: Én for materialernes påvirkninger (indlejret) og én for påvirkningerne fra drift. Type 2 er den fleksible referenceværdi, hvor der kun er én referenceværdi, der dækker bygningens samlede påvirkninger. På figuren er kun medtaget livscyklusfaser, som indgår i nærværende rapport.

## 7.2 Referenceværdier baseret på LCA for 60 case-bygninger

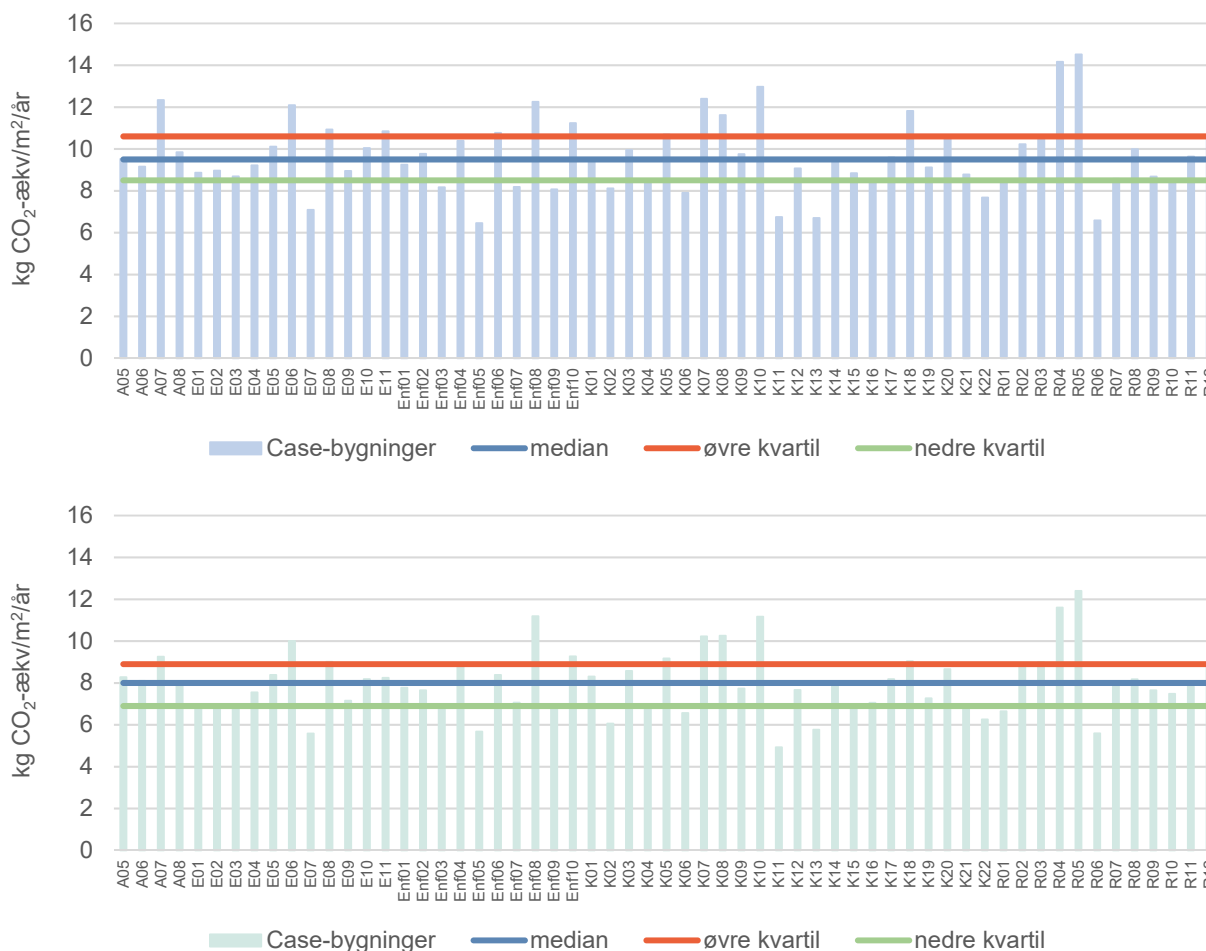
Tabel 7 viser resultaterne for referenceværdier for alle livscyklusfaser, både separat for materialer og drift samt samlet. Samtidig vises de tre tidligere omtalte ambitionsniveauer svarende til medianen, den øvre og nedre kvartil for både en 50-års og 80-års betragtningsperiode. Som tidligere nævnt, er der fordele og ulemper ved de forskellige fremgangsmåder til udformning af referenceværdier. I Sverige er det valgt kun at fokusere på påvirkningerne her og nu, dvs. fase A1-A5, hvorimod de fleste andre lande, som er i gang med at udvikle LCA-metoden, fokuserer på den samlede livscyklus (A, B og C-faserne). Umiddelbart ud fra, hvordan datamaterialet er opgivet her og nu med lagring af biogent carbon i A-fasen og frigivelse i C-fasen, vil en opdeling af referenceværdier på baggrund af livscyklusfaser give en skævvridning af påvirkningerne. Derfor er der ikke angivet separate referenceværdier for disse faser.

TABEL 7. Referenceværdierne er opdelt efter forskellige ambitionsniveauer og på forskellige livscyklusfaser.

Referenceværdier [kg CO <sub>2</sub> -ækv/m <sup>2</sup> /år]			
	Datakilde	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4
			Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
50 år	Nedre kvartil	1,9	6,3
	Median	2,3	7,1
	Øvre kvartil	2,7	8,5
80 år	Nedre kvartil	1,8	5,1
	Median	2,0	5,7
	Øvre kvartil	2,5	6,8

Vær opmærksom på at median-værdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).

Figur 26 viser bud på referenceværdier for alle faser (inkl. driftsenergiforbruget), hvor der angives medianværdien, samt øvre og nedre kvartil. Figuren viser også, at flere bygninger lykkes med at ligge betydeligt under den nedre kvartil for både 50-års og 80-års betragtningsperiode. Disse bygninger kan derfor også indgå som pejlemærker for fremtidens byggeri. Resultater for de enkelte case-bygninger kan findes i Bilag IV.



FIGUR 26. Referenceværdier for bygninger illustreret for case-bygningerne. Her vises referenceværdierne for bygningens samlede påvirkninger (alle faser) per kvadratmeter etageareal og år over en 50-års betragtningsperiode (øverst) og en 80-års betragtningsperiode (nederst).



## 7.3 Opdateringer af referenceværdier

De fremlagte referenceværdier tager udgangspunkt i en bestemt periode, og udgør dermed et øjebliksbillede. Det er dog essentielt, at referenceværdierne opdateres løbende i takt med den tekniske udvikling og i takt med at vidensniveauet forøges. Det forventes, at flere cases bliver tilgængelige med tiden, og at disse derfor kan være med til at danne et bedre data-grundlag. Samtidig vil data for miljøpåvirkninger af materialer udvikle sig, også i takt med at energiproduktionen omstilles. Dette gør, at det med tiden vil være muligt at udvide fokus til at omfatte andre miljøindikatorer end klimapåvirkningen. Flere indikatorer ville være et skridt i retningen af et helhedsbillede af den samlede miljøpåvirkning og ressourcebrug, og samtidig forhindre mulige skift af byrderne fra én miljøindikator til en anden.

Dette understreger vigtigheden af at sørge for at ajourføre referenceværdierne i henhold til den generelle udvikling i dansk byggeri. For at holde incitamentet højt i omstillingen af bygningers miljøpåvirkning vil det være et vigtigt signal at stramme referenceværdien i takt med udviklingen. Hvis branchen følger referenceværdierne for en 50-års eller 80-års betragtningsperiode kan byggeriet flyttes mod et lavere klimaaftryk og en mere bæredygtig branche, samt bidrage til målsætningen om en reduktion af den globale drivhusgasudledning. Ligeledes vil det være muligt at reducere påvirkningen for andre miljøindikatorer og for ressourceforbrug, hvis der opsættes referenceværdier for disse.

For at drage nytte af bygningers livscyklusvurderinger i den kommende tid er det afgørende at udvikle en strategi for erfaringsopsamling og efterfølgende evaluering, således at referenceværdierne kan opdateres hvis nødvendigt.

## 8 REFERENCER

- Birgisdóttir, H., & Madsen, S. S. (2017). *Bygningers indlejrede energi og miljøpåvirkninger*. SBI 2017:08, SBI forlag, 2017.
- Birgisdóttir, H., & Rasmussen, F. N. (2015). *Introduktion til LCA på bygninger*. Energistyrelsen, SBI forlag.
- COWI og Trafik-, bygge- og boligstyrelsen. (2016). *Nye emissionsfaktorer for el og fjernvarme*. COWI.
- DK-GBC. (2016). *DGNB System Denmark*. Green Building Council Denmark.
- Dodd, N., Cordella, M., Traverso, M., & Donatello, S. (2017). *Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings*. European Commission.
- Frischknecht, R., Birgisdóttir, H., Chae, C.-U., Lützkendorf, T., & Passer, A. (2019). IEA EBC Annex 72 - Assessing life cycle related environmental impacts caused by buildings - Targets and tasks. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 323 012042.
- Frischknecht, R., Birgisdóttir, H., Chae, C.-U., Lützkendorf, T., Passer, A., Alsema, E., . . . Ramsei. (2019). Comparison of the environmental assessment of an identical office building with national methods Recent citations Comparison of the environmental assessment of an identical office building with national methods. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 323 012037.
- International Energy Agency & Global Alliance for Buildings and Construction. (2018). *2018 Global Status Report Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. United Nations Environment Programme.
- Kanafani, K., Zimmermann, R. K., Birgisdóttir, H., & Rasmussen, F. N. (2019). *LCA i tidlig bygningsdesign - Introduktion til metoden og eksempler på miljøprofiler*. Statens Byggeforskningsinstitut.
- Klima-, Energi- og Bygningsministeriet. (2014). *Vejen til et styrket Danmark - Regeringens byggepolitiske strategi*. Regeringen.
- Klima-, Energi-, og Forsyningsministeriet. (2015). *Parisaftalen 2015*. Hentet fra <https://kefm.dk/klima-og-vejr/klimaforhandlinger/parisaftalen-2015/>
- Rasmussen, F. N., & Birgisdóttir, H. (2015). *Livscyklusvurdering af større bygningsrenoveringer: Miljømæssige konsekvenser belyst via casestudier*. SBI 2015:29, SBI forlag.
- Rasmussen, F. N., & Birgisdóttir, H. (2018). Life cycle assessment benchmarks for Danish office buildings. i R. Caspeele, L. Taerwe, & D.M. Frangopol (red.). *Life Cycle Analysis and Assessment in Civil Engineering: Towards an Integrated Vision: Proceedings of the Sixth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE 2018)*, 815-821, DOI: 10.1201/9781315228914.
- Rasmussen, F. N., Ganassali, S., Zimmermann, R. K., Lavagna, M., Campioli, A., & Birgisdóttir, H. (2019). LCA benchmarks for residential buildings in Northern Italy and Denmark - learnings from comparing two different contexts. *Building Research & Information*, 47:7, 833-849, DOI: 10.1080/09613218.2019.1613883.

- Rasmussen, F. N., Zimmermann, R. K., Kanafani, K., Andersen, C., & Birgisdóttir, H. (2020). *The choice of reference study period in building LCA - case-based analysis and arguments*. Submitted to Beyond2020.
- Röck, M., Saade, M. R., Balouktsi, M., Rasmussen, F. N., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., . . . Passer, A. (2020). *Embodied GHG emissions of buildings - The hidden challenge for effective climate change mitigation*. *Applied Energy* 258 (2020) 114107, DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.114107.
- World Green Building Council. (2019). *Bringing embodied carbon upfront - Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon*. World Green Building Council, Advancing Net Zero.
- Zimmermann, R. K., Kanafani, K., Rasmussen, F. N., & Birgisdottir, H. (2019). Early Design Stage Building LCA using the LCAbyg tool: Comparing Cas-es for Early Stage and Detailed LCA Approaches. *Conference Proceedings: Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019 (SBE19 Graz): Transition towards a net zero carbon built environment* , (s. 1-9).
- Østergaard, N., Thorsted, L., Miraglia, S., Birkved, M., Rasmussen, F. N., Birgisdóttir, H., . . . Georgiadis, S. (2018). *Data Driven Quantification of the Temporal Scope of Building LCAs*. *Procedia CIRP* 69 (2018), 224-229, DOI: 10.1016/j.procir.2017.11.057.
- Aagaard, N.-J., Brandt, E., Aggerholm, S., & Haugbølle, K. (2013). *Levetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi*. SBI 2013:30, SBI forlag.
- AAU BUILD og Energistyrelsen. (2019). Data udtrukket fra energimærkning af bygninger.

# BILAG I: BESKRIVELSE AF CASE-BYGNINGER

I tabel 8 vises de 60 case-bygninger og de dertilhørende koder samt overordnede karakteristika.

TABEL 8. Oversigt over datagrundlaget for de fem bygningstyper fordelt på de enkelte case-bygninger.

	Kode	Kilde	Energiklasse	Solceller	Areal <sup>1</sup>	Konstruktions-type <sup>2</sup>	Vægt [kg] <sup>3</sup>
Enfamiliehuse	Enf01	SBi	2015	-	Lille	Tung	91416
	Enf02	SBi	2015	-	Lille	Tung	210289
	Enf03	SBi	2015	-	Lille	Let	44656
	Enf04	SBi	2015	-	Lille	Tung	133246
	Enf05	Ekstern	2015	-	Lille	Let	30907
	Enf06	Ekstern	2015	-	Lille	Tung	202899
	Enf07	SBi	2015	-	Lille	Tung	220505
	Enf08	SBi	2015	-	Lille	Tung	145838
	Enf09	SBi	2020	-	Lille	Let	164589
	Enf10	SBi	2015	-	Lille	Tung	227346
	Enf11	SBi	2020	X	Lille	Tung	174504
Rækkehuse	R01	DGNB	2020	X	Mellem	Tung	4409517
	R02	DGNB	2020	X	Mellem	Let	904031
	R03	DGNB	2015	-	Mellem	Tung	2541191
	R04	DGNB	2015	X	Mellem	Tung	2365103
	R05	DGNB	2015	X	Mellem	Tung	2553707
	R06	DGNB	2015	-	Mellem	Let	2268074
	R07	DGNB	2015	-	Mellem	Let	437341
	R08	SBi	2015	X	Mellem	Tung	6139587
	R09	SBi	2015	-	Mellem	Let	2455827
	R10	SBi	2015	-	Mellem	Let	1888550
	R11	SBi	2015	-	Mellem	Tung	2158829
	R12	DGNB	2015	X	Lille	Let	1005821
Etageboliger	E01	DGNB	2015	X	Stor	Tung	19844609
	E02	DGNB	2020	X	Stor	Tung	17364661
	E03	DGNB	2015	X	Stor	Tung	18219218
	E04	DGNB	2020	X	Stor	Tung	21141499
	E05	DGNB	2020	X	Mellem	Tung	5925821
	E06	DGNB	2010	X	Mellem	Tung	5008972
	E07	DGNB	2015	-	Mellem	Let	3219710
	E08	DGNB	2020	X	Mellem	Tung	9324872
	E09	SBi	2015	X	Stor	Tung	27004694
	E10	Ekstern	2015	-	Mellem	Tung	5561688
	E11	Ekstern	2015	-	Mellem	Let	3132188

<b>Kontorer</b>	K01	DGNB	2015	X	Mellem	Tung	6011991
	K02	DGNB	2015	X	Stor	Tung	68481085
	K03	DGNB	2020	X	Mellem	Tung	13429735
	K04	DGNB	2020	X	Mellem	Tung	8566145
	K05	DGNB	2015	X	Mellem	Tung	4312283
	K06	DGNB	2015	X	Stor	Tung	15463761
	K07	DGNB	2020	X	Mellem	Tung	6038115
	K08	DGNB	2020	X	Mellem	Tung	1738747
	K09	DGNB	2015	X	Stor	Tung	12999353
	K10	DGNB	2015	X	Mellem	Tung	8528219
	K11	DGNB	2015	-	Stor	Tung	43620490
	K12	DGNB	2010	-	Mellem	Tung	8209042
	K13	DGNB	2020	X	Stor	Tung	11569725
	K14	DGNB	2020	X	Mellem	Tung	7270518
	K15	DGNB	2015	X	Mellem	Tung	12053227
	K16	SBi	2020	X	Stor	Tung	16058565
	K17	DGNB	2020	X	Mellem	Tung	1819736
	K18	DGNB	2015	-	Mellem	Tung	1114688
	K19	DGNB	2015	-	Mellem	Tung	10383816
	K20	DGNB	2015	X	Stor	Tung	16812703
	K21	DGNB	2020	X	Stor	Tung	23658957
	K22	DGNB	2020	X	Mellem	Tung	9654780
<b>Andet byggeri</b>	A05	Ekstern	2015	X	Stor	Tung	28084219
	A06	Ekstern	2015	X	Stor	Let	23475460
	A07	SBi	2020	X	Mellem	Tung	12207764
	A08	SBi	2015	X	Stor	Tung	27764263

<sup>1</sup> Arealet er angivet i kategorierne lille (<1000 m<sup>2</sup>), mellem (1000-10.000 m<sup>2</sup>) og stor (>10.000 m<sup>2</sup>)

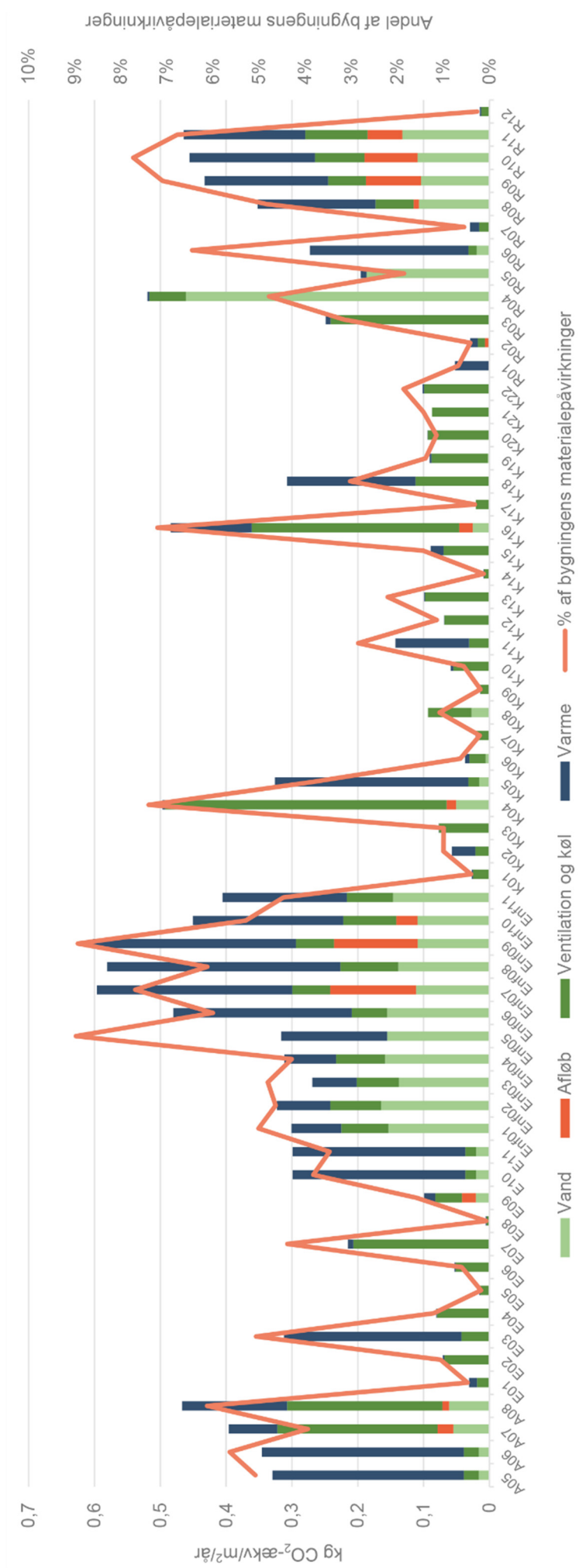
<sup>2</sup> Tungt byggeri er defineret ved bærende konstruktioner udført med bagmur eller betonelementer, hvor let byggeri svarer til bærende konstruktioner i skelletkonstruktioner.

<sup>3</sup>Mængdeangivelserne inkluderer ikke udskiftninger af bygningsdele.

## BILAG II: KORRIGERING FOR MANGLENDE DATA FOR TEKNISKE INSTALLATIONER

Da flere af case-bygningerne ikke indeholder detaljeret data for de tekniske installationer, korrigeres der for dette. I dette afsnit beskrives hvordan resultaterne er korrigeret for mangelfuld data, således at de indeholder miljøpåvirkning svarende til tekniske installationer. I tekniske installationer indgår solceller ikke, da data for solceller er tilstrækkelig for de relevante cases og det har dermed ikke været nødvendigt at korrigere for mangelfuld data.

Påvirkningerne fra tekniske installationer vises i figur 27 ved en 50 års betragtningsperiode. Figuren viser, at der er mange af case-bygninger, hvor der kun i begrænset omfang er medtaget installationer. Det vil sige, at der er mange case-bygninger, der slet ikke indeholder data for installationer for vand og afløb. Den store spredning i resultaterne for installationsgrupperne skyldes også, at fuldstændigheden af data er forskellig. Det betyder, at nogle cases indeholder forsyning, rørføring og forbrugsanlæg for de forskellige installationer, mens andre kun indeholder forsyning. Med den eksisterende data fra case-bygningerne fylder installationer under 10 % af bygningens samlede klimapåvirkninger fra materialer, når der ikke tages højde for ukomplet data. Andelen i procent kan ses i figur 27 for en 50 års betragtningsperiode.

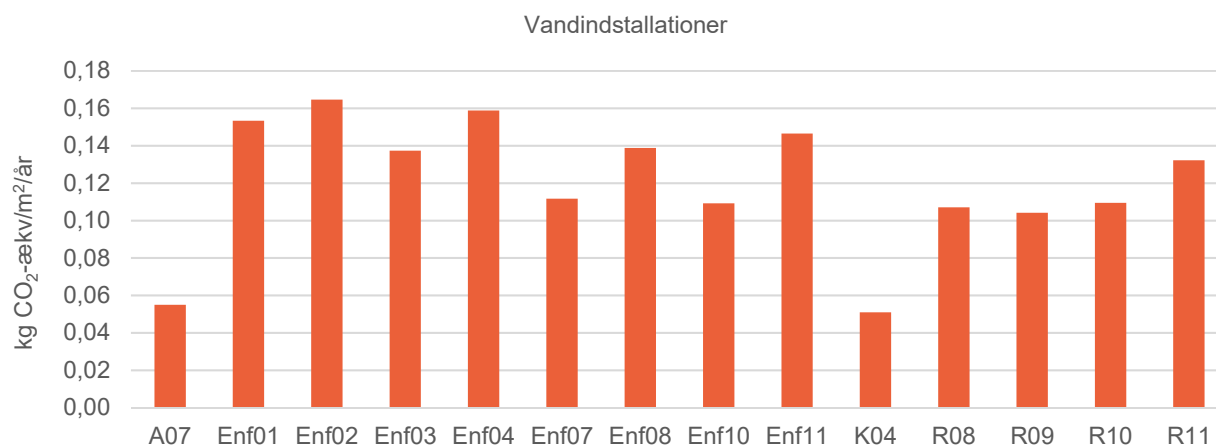


**FIGUR 27.** Indberettede (manglefulde) tekniske installationer fra alle cases samt de tekniske installationers procentandel af de samlede påvirkninger fra materialer set over en 50 års betragtningsperiode. Søjlerne refererer til akser i venstre side, og viser størrelsen af klimapåvirkninger fra de tekniske installationer. Kurven refererer til akser i højre side og viser andelen af de tekniske installationer i forhold til bygningens samlede klimapåvirkning.

For at få et mere retvisende billede af størrelsesordenen for installationernes klimapåvirkninger, er der derfor behov for at udvælge de data med mest information om installationsgrupperne. Hver af de fire installationsgrupper kan inddeles i yderligere undergrupper. I tabel 9 er vist relevante undergrupper, og hvor mange cases, der medtager materialer fra undergrupperne. På baggrund af dette er der udvalgt projekter, der medtager de vigtigste undergrupper og dermed kan betragtes som en "komplet" installationsgruppe. For gruppen Varme har det ikke været afgørende at vandrør var medtaget, da antal cases ellers ville være begrænset for meget. Påvirkningerne fra de udvalgte cases er vist i figur 28-31. Påvirkningen fra vandinstallationer er vist i figur 28. De udvalgte case-bygninger består primært af boliger, og deres påvirkninger har lille spredning. Figur 29 viser, at klimapåvirkningen fra installationer til ventilation/køl er betydeligt højere i kontorbygninger og andet byggeri end for enfamiliehuse og rækkehuse. Det passer godt sammen med, at der typisk stilles højere krav til luftskiftet i kontorer og institutioner end i boliger. Derved bliver størrelsen på anlægget samt rørføringen større i kontorer og institutioner. I de to etageboliger er der stor forskel i påvirkningerne fra ventilation. Figur 30 viser, at påvirkningen fra varmeinstallationer generelt er høj for alle bygningstyper. Modsat er påvirkningerne fra afløb i figur 31 meget lave. Der er stor spredning i resultaterne, hvilket bl.a. afspejler, at der stadig er stor forskel på, hvor meget der er medtaget i de enkelte cases.

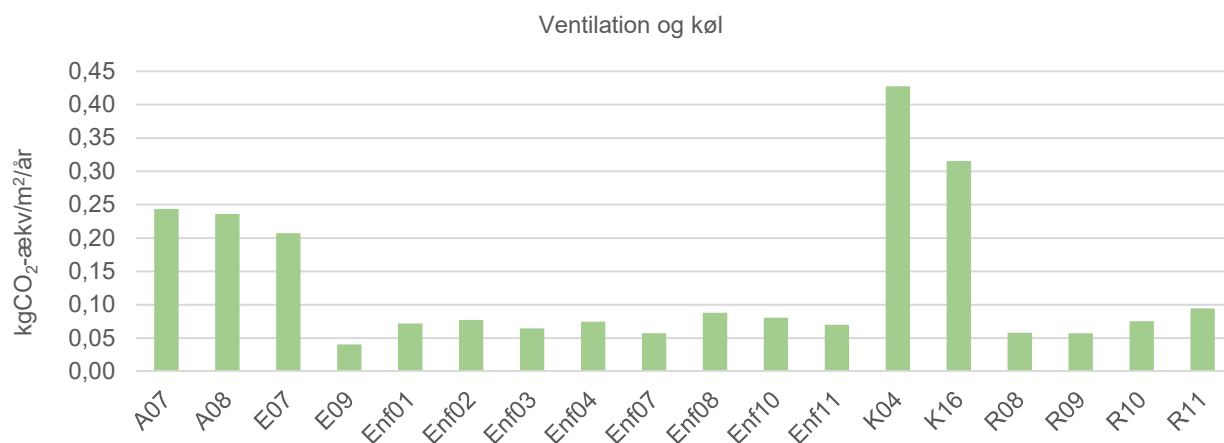
TABEL 9. Cases med udfyldt materiale-data for forskellige installationsgrupper.

Grupper	Antal projekter med udfyldt gruppe	Undergrupper
Afløb	11	Faldstammer
		Nedløb fra tag
Vand	14	Varmtvandsbeholder
		Vandrør
Varme	22	Forsyningsanlæg
		Varmerør
		Gulvvarme/radiatorer
Ventilation og køl	18	Ventilationsanlæg + evt. køl
		Ventilationskanaler

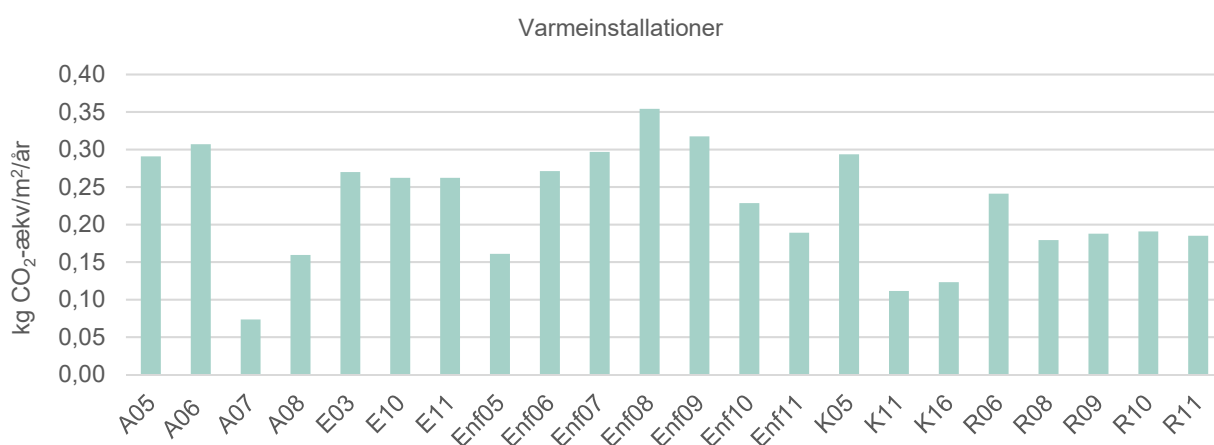


FIGUR 28. Påvirkninger fra vandinstallationer i case-bygninger ved en 50 års betragtningsperiode, hvor installationsgruppen er udfyldt.

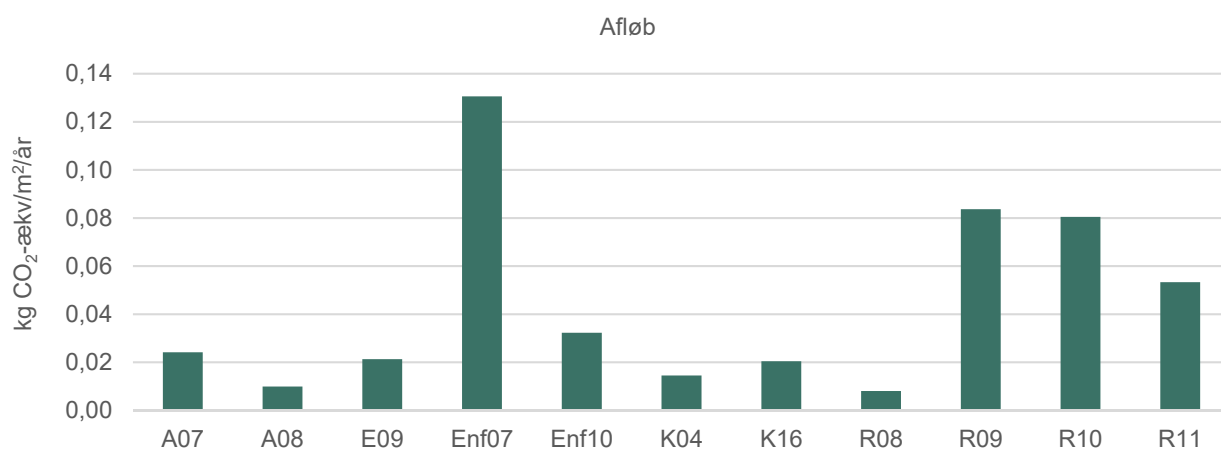




FIGUR 29. Påvirkninger fra ventilations- og kølingsinstallationer i case-bygninger ved en 50 års betragtningsperiode, hvor installationsgruppen er udfyldt.



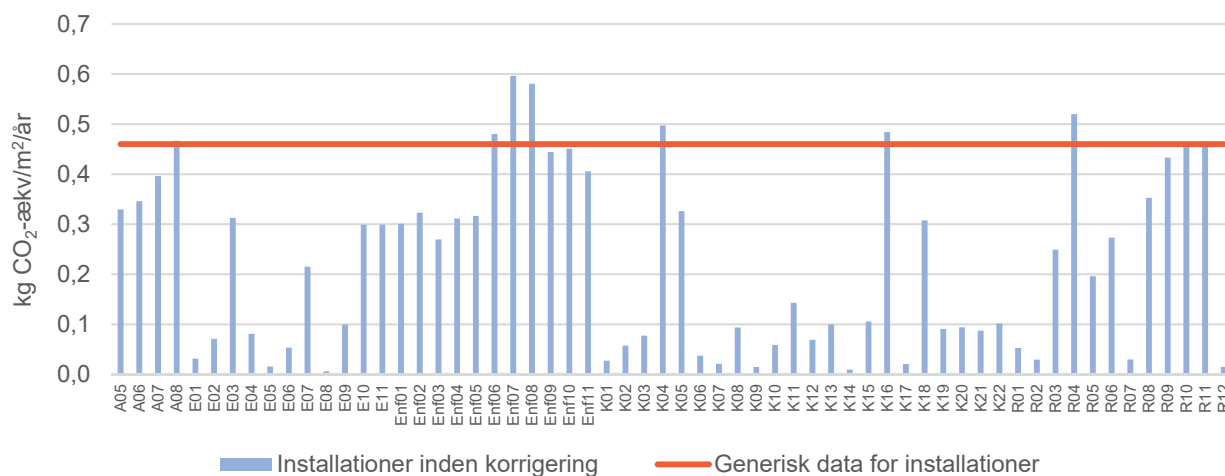
FIGUR 30. Påvirkninger fra varmeinstallationer i case-bygninger ved en 50 års betragtningsperiode, hvor installationsgruppen er udfyldt.



FIGUR 31. Påvirkninger fra afløbsinstallationer i case-bygninger ved en 50 års betragtningsperiode, hvor installationsgruppen er udfyldt.

Påvirkningerne i de udfyldte installationsgrupper kan danne grundlag for generiske værdier, som kan bruges i projekter, hvor der ikke findes materialemængder for installationer. I rapporten er de generiske værdier brugt for alle case-bygningerne. Ud fra påvirkningerne i de udfyldte installationsgrupper er medianværdipåvirkningen beregnet (tabel 2) og bruges som generiske værdier i stedet for de specifikke påvirkninger for tekniske installationer. I figur 32

ses resultater fra case-bygninger med den beregnede medianværdipåvirkning (generiske værdi) for tekniske installationer sammenlignet med den case-specifikke påvirkning for tekniske installationer (som også fremgår af figur 27).



FIGUR 32. Medianværdipåvirkningen (generisk data) for tekniske installationer i forhold til den case-specifikke påvirkning for installationer.

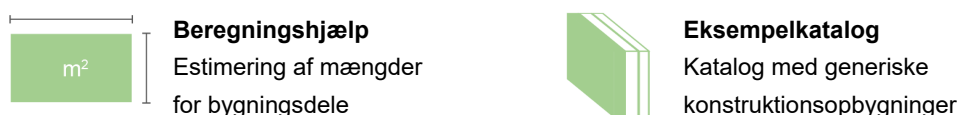
På samme måde som i dette afsnit er generiske værdier for tekniske installationer ved en 80 års betragtningsperiode fundet. Da metoden er ens ved en 50 års og 80 års betragtningsperiode, gennemgås denne ikke yderligere for den 80 års betragtningsperiode. Medianværdipåvirkningen for case-bygningerne ved en 80 års betragtningsperiode findes af tabel 2 i afsnit 3.2.



## BILAG III: BRUG AF OVERSLAGS-LCA

I de tidlige designfaser af en bygning, hvor udformningen ikke er helt fastlagt, anvender man typisk estimater på materialevalg og mængder i forskellige grader. Dette afsnit undersøger en tilgang til overslags-LCA, som findes i værktøjet LCAbyg. Ud fra seks af case-bygningerne, som er modelleret med både en overslags og detaljeret tilgang, undersøges det, hvor tæt værktøjet til overslags-LCA kommer på resultatet i den detaljerede LCA. Analysen har ikke nogen indflydelse på referenceværdierne i denne rapport, men viser, hvilken indflydelse på resultatet det har at bruge LCAbyg's funktioner til en overslags-LCA.

I LCAbyg version 4.0 (beta) er der udviklet hjælpeværktøjer, som understøtter brugeren i at opnå en fuldstændig bygningsmodel på trods af manglende projektoplysninger. Disse hjælpeværktøjer er hhv. et eksempelskatalog indeholdende generiske konstruktionsopbygninger samt en beregningshjælp til estimering af mængder for bygningsdele, se figur 33. Ved anvendelse af disse hjælpeværktøjer laves et typisk konservativt estimat af bygningsdelens mængder, som skal give en indikation af bygningens forventede miljøaftryk.



FIGUR 33. I værktøjet LCAbyg findes funktioner til at udføre LCA i tidlig designfase. Funktionerne består bl.a. i et eksempelskatalog og en beregningshjælp.

I dette afsnit undersøges det, hvordan anvendelsen af eksempelskataloget og beregningshjælpen til estimering af materialeforbruget påvirker resultaterne af LCA'en. Til dette tages udgangspunkt i seks forskellige case-bygninger, der er modelleret efter tre forskellige niveauer af nøjagtighed omtalt som *overslag*, *justeret* og *detaljeret*. Ved nøjagtigheden forstås, hvor præcist LCA'en er i forhold til byggeprojektets reelle og faktiske materialetype og mængder. Niveauet af nøjagtighed er nærmere specificeret i tabel 10, hvor de tre niveauer differentierer sig i måden at estimere typen af materialer, tykkelse af materialer samt arealet af bygningsdelen, som de forskellige bygningsdele dækker over. "Specifik" i tabel 10 refererer til den reelle konstruktionsopbygning samt de reelle mængder af bygningsdele baseret på tegningsmateriale. I tabel 10 ses desuden, hvor mange case-bygninger der er modelleret for hvert niveau af nøjagtighed.

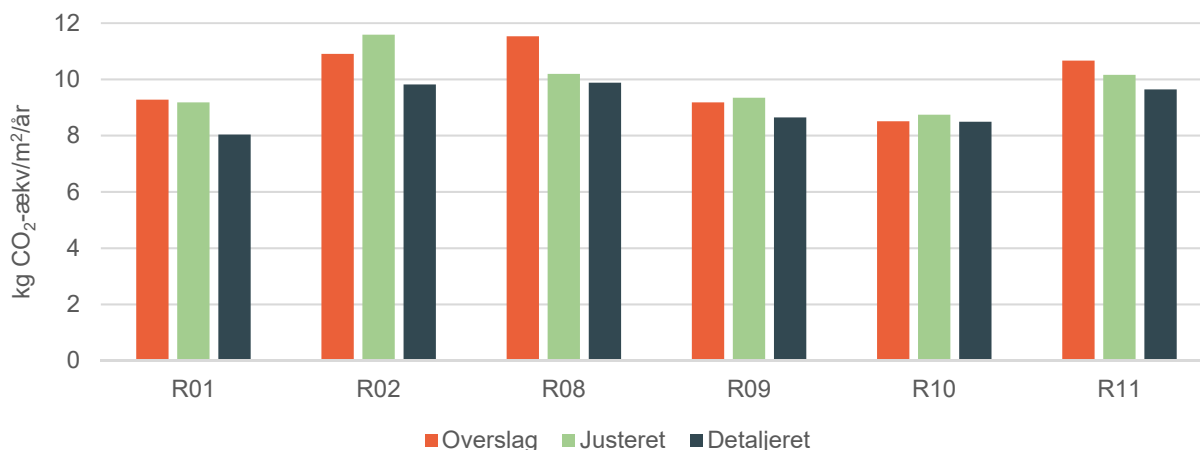
TABEL 10. Oversigt over niveauer af nøjagtighed for case-bygningerne samt hvor mange case-bygninger, der er modelleret for hvert nøjagtighedsniveau.

		Overslag	Justeret	Detaljeret
Konstruktionsopbygning	Materialetype	Eksempelskatalog i LCAbyg	Specifik	Specifik
	Tykkelser af lag	Eksempelskatalog i LCAbyg	Specifik	Specifik
Mængder af bygningsdele	Arealer	Beregningshjælp i LCAbyg	Beregningshjælp i LCAbyg	Specifik

Figur 34 viser resultaterne fra analysen. Her ses det, at LCA'ens nøjagtighed påvirker den samlede klimapåvirkning for bygningen. I alle case-bygninger viser resultaterne, at de detaljerede scenarier har den laveste klimapåvirkning og at overslagsscenariet har den højeste klimapåvirkning. Overslagsscenariet er op til 16 % højere end det detaljerede, men i 4 ud af de 6 cases ligger overslaget indenfor 11 % af den detaljerede. Casene lavet efter det justerede scenarie, har i de fleste tilfælde en påvirkning, der ligger mellem påvirkningen fundet ved overslagsscenariet og ved det detaljerede scenarie. Resultaterne ligger her inden for 18 % af den detaljerede.

Den høje påvirkning fra overslagsscenarierne var forventelig, da eksempelkataloget har en konservativ opbygning i forhold til tykkelse af isolering og andre materialelag. Derudover er beregningshjælpen konservativ i estimeringen af, hvor stort et areal bygningsdelen dækker over, fordi der bl.a. ikke tages højde for overlap af vægge. Angivelse af de præcise arealer i stedet for dem, der beregnes i værktøjets beregningshjælp, kan reducere miljøpåvirkningerne op imod 18 %.

I tre cases er påvirkningen fra det justerede scenarie højere end overslagsscenariet. Dette skyldes, at konstruktionsopbygningen i det detaljerede scenarie afviger væsentligt fra dem, der er tilgængelige i eksempelkataloget, herunder forhold i isoleringstykkelse og -type, samt bærende konstruktioner. Grunden til dette er, at bygningerne har en større isoleringstykkelse i terrændæk og ydervægge, end der findes i eksempelkataloget. Desuden bruges i flere cases en isoleringstype med højere klimapåvirkning, end den, der findes i eksempelkataloget: fx trykfast isolering i taget, som har en betydelig højere påvirkning end en tilsvarende isolering med lav densitet. Case-bygningernes tykkelse og styrke af betonkonstruktioner afviger også i nogle tilfælde fra eksempelkataloget.



**FIGUR 34.** Fordeling af de samlede påvirkninger for materialer og drift for tre niveauer af nøjagtighed over en 50 års betragtningsperiode

Overslags-LCA'erne giver i de fleste tilfælde et konservativt estimat af den detaljerede LCA. Men ud fra denne analyse samt tidligere lignende analyser (Zimmermann, Kanafani, Rasmussen, & Birgisdottir, 2019) står det klart, at det er vigtigt at være opmærksom på isoleringsmængden og -typen, når man laver sin overslags-LCA. Særligt hvis man har planer om at lave en bygning, der har mere isolering end standard, eller hvis man forventer at bruge trykfast isolering. Også de bærende elementer, herunder betonkonstruktioner, bør angives med korrekt styrke og mængde, så snart dette er tilgængeligt i projektet.

Denne analyse viser, at eksempelkataloget og beregningshjælpen kan anvendes i den tidlige designfase til at give en ide om størrelsesordenen af miljøpåvirkningerne for et givent projekt. Senere i projektet bør konstruktionsopbygningerne og arealerne justeres for at beregne den præcise miljøpåvirkning svarende til den detaljerede LCA.

## BILAG IV: DETALJEREDE LCA-RESULTATER VED 50 ÅRS BETRAGTNINGSPERIODE

I tabel 11 til 19 præsenteres miljøpåvirkningerne for alle faser for de 60 case-bygninger ved 50 års betragtningsperiode samt for alle miljøpåvirkningskategorier, som er inkluderet i

LCAByg version 4.0 (beta):

- Global opvarmning (GWP, i kg CO<sub>2</sub>-eq)
- Ozonlagsnedbrydning (ODP, i kg R11-eq)
- Forsuring (AP, i kg SO<sub>2</sub>-eq)
- Næringssaltbelastning (EP, i kg PO<sub>4</sub>-eq)
- Fotokemisk ozondannelse (POCP, i kg etilen-eq)
- Udtømning af abiotiske ressourcer – grundstoffer (ADPe, i SB-eq)
- Udtømning af abiotiske ressourcer – fossile brændsler (ADPf, i MJ)
- Primærenergiforbruget (PEtot, i MJ eller kWh)
- Forbrug af sekundære brændsler (SEK, i MJ eller kWh)

## Resultater for betragtningsperiode på 50 år

TABEL 11. Resultater for cases for GWP

	kg CO <sub>2</sub> -ækv/m <sup>2</sup> /år		
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	3,08E+00	6,16E+00	9,24E+00
Enf02	2,66E+00	7,10E+00	9,76E+00
Enf03	2,38E+00	5,79E+00	8,17E+00
Enf04	2,98E+00	7,40E+00	1,04E+01
Enf05	2,78E+00	3,67E+00	6,45E+00
Enf06	2,78E+00	7,98E+00	1,08E+01
Enf07	5,64E-01	7,62E+00	8,18E+00
Enf08	2,89E+00	9,36E+00	1,22E+01
Enf09	1,46E+00	6,60E+00	8,07E+00
Enf10	2,72E+00	8,52E+00	1,12E+01
Enf11	-	9,12E+00	-
R01	2,21E-01	8,17E+00	8,39E+00
R02	2,78E+00	7,44E+00	1,02E+01
R03	2,48E+00	8,11E+00	1,06E+01
R04	3,36E+00	1,08E+01	1,42E+01
R05	3,70E+00	1,08E+01	1,45E+01
R06	2,16E+00	4,42E+00	6,58E+00
R07	2,77E+00	5,80E+00	8,57E+00
R08	2,60E+00	7,39E+00	9,99E+00
R09	2,55E+00	6,13E+00	8,67E+00
R10	2,60E+00	5,90E+00	8,50E+00
R11	2,78E+00	6,85E+00	9,63E+00
R12	4,58E+00	5,87E+00	1,05E+01
E01	1,91E+00	6,95E+00	8,86E+00
E02	1,92E+00	7,05E+00	8,96E+00
E03	2,37E+00	6,32E+00	8,68E+00
E04	2,19E+00	7,03E+00	9,21E+00
E05	1,30E+00	8,80E+00	1,01E+01
E06	2,91E+00	9,17E+00	1,21E+01
E07	1,95E+00	5,14E+00	7,09E+00
E08	2,32E+00	8,61E+00	1,09E+01
E09	2,31E+00	6,64E+00	8,95E+00
E10	2,07E+00	7,97E+00	1,00E+01
E11	2,07E+00	8,77E+00	1,08E+01
K01	2,38E+00	7,14E+00	9,52E+00
K02	2,03E+00	6,09E+00	8,11E+00
K03	1,82E+00	8,13E+00	9,94E+00
K04	1,68E+00	6,68E+00	8,36E+00
K05	2,06E+00	8,64E+00	1,07E+01
K06	1,64E+00	6,26E+00	7,90E+00
K07	2,11E+00	1,03E+01	1,24E+01
K08	2,65E+00	8,96E+00	1,16E+01
K09	1,91E+00	7,84E+00	9,75E+00
K10	2,14E+00	1,08E+01	1,30E+01
K11	1,42E+00	5,32E+00	6,75E+00
K12	2,66E+00	6,41E+00	9,07E+00
K13	1,83E+00	4,86E+00	6,69E+00
K14	1,82E+00	7,75E+00	9,56E+00
K15	2,26E+00	6,58E+00	8,84E+00
K16	1,68E+00	6,70E+00	8,37E+00
K17	2,61E+00	6,98E+00	9,59E+00
K18	1,49E+00	1,03E+01	1,18E+01
K19	2,21E+00	6,90E+00	9,11E+00
K20	2,02E+00	8,53E+00	1,06E+01
K21	2,32E+00	6,46E+00	8,77E+00
K22	1,87E+00	5,80E+00	7,67E+00
A05	2,90E+00	6,62E+00	9,52E+00
A06	2,90E+00	6,25E+00	9,15E+00
A07	2,22E+00	1,01E+01	1,23E+01
A08	2,23E+00	7,61E+00	9,84E+00
Nedre kvartil	1,91E+00	6,27E+00	8,50E+00
Median	2,26E+00	7,07E+00	9,52E+00
Øvre kvartil	2,72E+00	8,53E+00	1,06E+01

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).

TABEL 12. Resultater for cases for ODP

kg R11-ækv/m <sup>2</sup> /år			
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	2,42E-10	3,82E-08	3,85E-08
Enf02	2,12E-10	5,16E-08	5,19E-08
Enf03	1,95E-10	8,87E-08	8,89E-08
Enf04	2,19E-10	4,38E-08	4,40E-08
Enf05	2,23E-10	1,13E-07	1,14E-07
Enf06	2,23E-10	4,51E-08	4,53E-08
Enf07	2,33E-11	1,07E-07	1,07E-07
Enf08	2,28E-10	1,85E-07	1,85E-07
Enf09	1,15E-10	7,98E-08	8,00E-08
Enf10	2,17E-10	1,31E-07	1,32E-07
Enf11	-	1,18E-07	-
R01	9,14E-12	1,33E-08	1,33E-08
R02	2,23E-10	3,53E-08	3,56E-08
R03	1,96E-10	9,74E-09	9,93E-09
R04	2,30E-10	1,40E-08	1,42E-08
R05	2,60E-10	1,76E-08	1,79E-08
R06	1,71E-10	4,59E-08	4,60E-08
R07	2,16E-10	3,64E-08	3,66E-08
R08	2,07E-10	8,64E-08	8,66E-08
R09	2,10E-10	6,23E-08	6,25E-08
R10	2,07E-10	1,05E-07	1,05E-07
R11	2,22E-10	1,34E-07	1,34E-07
R12	3,89E-10	4,82E-08	4,86E-08
E01	1,52E-10	2,27E-08	2,29E-08
E02	1,53E-10	1,13E-08	1,14E-08
E03	1,91E-10	1,49E-08	1,50E-08
E04	1,78E-10	1,25E-08	1,26E-08
E05	1,12E-10	2,19E-08	2,20E-08
E06	2,28E-10	4,92E-09	5,15E-09
E07	1,53E-10	1,07E-07	1,07E-07
E08	1,91E-10	1,15E-08	1,17E-08
E09	1,79E-10	9,67E-09	9,85E-09
E10	1,68E-10	2,47E-08	2,49E-08
E11	1,68E-10	5,06E-08	5,08E-08
K01	1,83E-10	8,62E-09	8,80E-09
K02	1,48E-10	1,15E-08	1,16E-08
K03	1,33E-10	6,98E-08	7,00E-08
K04	1,26E-10	1,04E-08	1,05E-08
K05	1,52E-10	2,27E-08	2,29E-08
K06	1,15E-10	1,04E-08	1,05E-08
K07	1,59E-10	1,94E-08	1,96E-08
K08	1,89E-10	9,37E-09	9,55E-09
K09	1,35E-10	9,29E-09	9,42E-09
K10	1,51E-10	2,06E-08	2,08E-08
K11	8,67E-11	1,90E-08	1,91E-08
K12	1,94E-10	5,91E-09	6,10E-09
K13	1,32E-10	5,93E-09	6,07E-09
K14	1,29E-10	1,24E-08	1,26E-08
K15	1,69E-10	1,17E-08	1,18E-08
K16	1,19E-10	9,79E-09	9,91E-09
K17	1,81E-10	9,64E-09	9,82E-09
K18	6,16E-11	8,45E-09	8,51E-09
K19	1,55E-10	3,65E-08	3,66E-08
K20	1,43E-10	1,91E-08	1,92E-08
K21	1,64E-10	1,03E-08	1,05E-08
K22	1,33E-10	8,22E-09	8,36E-09
A05	2,15E-10	2,64E-08	2,66E-08
A06	2,15E-10	2,66E-08	2,68E-08
A07	1,66E-10	1,34E-08	1,35E-08
A08	1,66E-10	1,05E-08	1,06E-08
Nedre kvartil	1,43E-10	1,04E-08	1,05E-08
Median	1,71E-10	2,00E-08	1,96E-08
Øvre kvartil	2,15E-10	5,00E-08	4,86E-08

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).



TABEL 13. Resultater for cases for AP

kg SO <sub>2</sub> --ækv/m <sup>2</sup> /år			
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	1,34E-02	1,83E-02	3,17E-02
Enf02	1,10E-02	1,74E-02	2,84E-02
Enf03	8,77E-03	2,54E-02	3,41E-02
Enf04	1,58E-02	1,58E-02	3,16E-02
Enf05	1,12E-02	1,35E-02	2,47E-02
Enf06	1,12E-02	1,93E-02	3,05E-02
Enf07	6,48E-03	1,48E-02	2,13E-02
Enf08	1,24E-02	2,54E-02	3,78E-02
Enf09	6,43E-03	1,73E-02	2,38E-02
Enf10	1,11E-02	2,09E-02	3,20E-02
Enf11	-	2,41E-02	-
R01	2,54E-03	2,98E-02	3,23E-02
R02	1,12E-02	2,55E-02	3,67E-02
R03	1,04E-02	2,44E-02	3,49E-02
R04	8,43E-03	3,13E-02	3,97E-02
R05	1,00E-02	3,00E-02	4,00E-02
R06	9,17E-03	1,13E-02	2,05E-02
R07	1,23E-02	1,37E-02	2,60E-02
R08	1,07E-02	1,67E-02	2,73E-02
R09	9,19E-03	1,64E-02	2,56E-02
R10	1,07E-02	1,79E-02	2,85E-02
R11	1,13E-02	1,73E-02	2,86E-02
R12	1,42E-02	1,71E-02	3,13E-02
E01	8,00E-03	1,78E-02	2,58E-02
E02	7,84E-03	1,55E-02	2,33E-02
E03	9,33E-03	1,51E-02	2,44E-02
E04	8,35E-03	1,88E-02	2,71E-02
E05	3,74E-03	1,77E-02	2,15E-02
E06	1,28E-02	2,19E-02	3,48E-02
E07	8,41E-03	1,57E-02	2,41E-02
E08	8,37E-03	2,06E-02	2,89E-02
E09	1,04E-02	1,47E-02	2,51E-02
E10	7,98E-03	1,69E-02	2,49E-02
E11	7,98E-03	2,21E-02	3,00E-02
K01	1,12E-02	2,09E-02	3,20E-02
K02	1,10E-02	1,38E-02	2,48E-02
K03	9,81E-03	2,21E-02	3,19E-02
K04	8,44E-03	1,44E-02	2,28E-02
K05	1,07E-02	2,81E-02	3,88E-02
K06	9,72E-03	1,68E-02	2,65E-02
K07	1,05E-02	2,19E-02	3,24E-02
K08	1,52E-02	2,70E-02	4,22E-02
K09	1,12E-02	2,07E-02	3,19E-02
K10	1,25E-02	2,79E-02	4,05E-02
K11	1,10E-02	1,30E-02	2,40E-02
K12	1,45E-02	1,87E-02	3,31E-02
K13	1,02E-02	1,33E-02	2,34E-02
K14	1,06E-02	1,63E-02	2,69E-02
K15	1,15E-02	1,49E-02	2,64E-02
K16	9,72E-03	1,71E-02	2,69E-02
K17	1,60E-02	1,59E-02	3,19E-02
K18	1,71E-02	2,45E-02	4,16E-02
K19	1,33E-02	1,60E-02	2,93E-02
K20	1,17E-02	2,33E-02	3,50E-02
K21	1,35E-02	1,48E-02	2,83E-02
K22	1,09E-02	1,47E-02	2,56E-02
A05	1,50E-02	2,14E-02	3,64E-02
A06	1,50E-02	2,04E-02	3,54E-02
A07	1,12E-02	2,97E-02	4,09E-02
A08	1,16E-02	1,96E-02	3,11E-02
Nedre kvartil	9,17E-03	1,58E-02	2,57E-02
Median	1,09E-02	1,79E-02	2,94E-02
Øvre kvartil	1,23E-02	2,22E-02	3,42E-02

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).

TABEL 14. Resultater for cases for EP

kg PO <sub>4</sub> --ækv/m <sup>2</sup> /år			
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	2,61E-03	2,16E-03	4,76E-03
Enf02	2,08E-03	2,35E-03	4,42E-03
Enf03	1,54E-03	3,56E-03	5,11E-03
Enf04	3,36E-03	2,21E-03	5,57E-03
Enf05	2,10E-03	2,24E-03	4,34E-03
Enf06	2,10E-03	2,71E-03	4,80E-03
Enf07	1,67E-03	1,95E-03	3,62E-03
Enf08	2,40E-03	3,34E-03	5,74E-03
Enf09	1,26E-03	2,69E-03	3,95E-03
Enf10	2,08E-03	2,84E-03	4,92E-03
Enf11	-	3,16E-03	-
R01	6,54E-04	2,86E-03	3,52E-03
R02	2,10E-03	3,12E-03	5,22E-03
R03	2,00E-03	2,42E-03	4,41E-03
R04	1,30E-03	3,01E-03	4,31E-03
R05	1,60E-03	2,92E-03	4,52E-03
R06	1,76E-03	1,70E-03	3,46E-03
R07	2,41E-03	1,98E-03	4,40E-03
R08	2,01E-03	2,17E-03	4,17E-03
R09	1,59E-03	2,38E-03	3,98E-03
R10	2,01E-03	2,79E-03	4,80E-03
R11	2,12E-03	2,40E-03	4,52E-03
R12	2,18E-03	2,50E-03	4,68E-03
E01	1,52E-03	2,04E-03	3,56E-03
E02	1,47E-03	1,95E-03	3,43E-03
E03	1,71E-03	2,10E-03	3,81E-03
E04	1,50E-03	2,53E-03	4,04E-03
E05	5,31E-04	2,46E-03	2,99E-03
E06	2,50E-03	2,65E-03	5,16E-03
E07	1,63E-03	2,36E-03	3,98E-03
E08	1,45E-03	2,38E-03	3,83E-03
E09	2,07E-03	1,91E-03	3,98E-03
E10	1,45E-03	2,27E-03	3,71E-03
E11	1,45E-03	2,57E-03	4,02E-03
K01	2,25E-03	2,36E-03	4,61E-03
K02	2,35E-03	1,77E-03	4,12E-03
K03	2,10E-03	2,49E-03	4,59E-03
K04	1,76E-03	1,76E-03	3,51E-03
K05	2,26E-03	3,25E-03	5,51E-03
K06	2,15E-03	1,82E-03	3,98E-03
K07	2,16E-03	2,79E-03	4,96E-03
K08	3,33E-03	3,46E-03	6,78E-03
K09	2,46E-03	2,84E-03	5,30E-03
K10	2,76E-03	3,66E-03	6,43E-03
K11	2,63E-03	1,69E-03	4,32E-03
K12	3,10E-03	2,83E-03	5,93E-03
K13	2,20E-03	1,67E-03	3,87E-03
K14	2,33E-03	2,18E-03	4,52E-03
K15	2,39E-03	1,86E-03	4,26E-03
K16	2,14E-03	2,40E-03	4,53E-03
K17	3,59E-03	2,22E-03	5,81E-03
K18	4,40E-03	3,04E-03	7,44E-03
K19	2,95E-03	2,26E-03	5,20E-03
K20	2,57E-03	3,47E-03	6,04E-03
K21	2,97E-03	1,91E-03	4,88E-03
K22	2,39E-03	1,91E-03	4,30E-03
A05	3,16E-03	2,85E-03	6,01E-03
A06	3,16E-03	2,88E-03	6,04E-03
A07	2,34E-03	3,06E-03	5,40E-03
A08	2,44E-03	2,54E-03	4,98E-03
Nedre kvartil	1,67E-03	2,12E-03	3,99E-03
Median	2,14E-03	2,42E-03	4,53E-03
Øvre kvartil	2,46E-03	2,86E-03	5,22E-03

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).

TABEL 15. Resultater for cases for POCP

kg ethen--ækv/m <sup>2</sup> /år			
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	1,40E-03	3,24E-03	4,64E-03
Enf02	1,04E-03	4,46E-03	5,50E-03
Enf03	6,33E-04	8,89E-04	1,52E-03
Enf04	2,15E-03	5,35E-03	7,50E-03
Enf05	1,02E-03	1,84E-03	2,85E-03
Enf06	1,02E-03	5,10E-03	6,11E-03
Enf07	1,39E-03	6,98E-03	8,37E-03
Enf08	1,26E-03	7,68E-03	8,94E-03
Enf09	6,80E-04	4,44E-03	5,12E-03
Enf10	1,03E-03	6,50E-03	7,52E-03
Enf11	-	7,11E-03	-
R01	5,44E-04	4,09E-03	4,63E-03
R02	1,02E-03	4,34E-03	5,35E-03
R03	1,03E-03	5,30E-03	6,33E-03
R04	2,87E-04	6,64E-03	6,93E-03
R05	4,32E-04	7,58E-03	8,01E-03
R06	9,15E-04	3,42E-03	4,34E-03
R07	1,32E-03	5,31E-03	6,63E-03
R08	9,96E-04	3,92E-03	4,92E-03
R09	6,22E-04	3,58E-03	4,20E-03
R10	9,96E-04	3,65E-03	4,65E-03
R11	1,04E-03	3,77E-03	4,81E-03
R12	4,62E-04	4,42E-03	4,88E-03
E01	7,77E-04	2,81E-03	3,59E-03
E02	7,30E-04	4,41E-03	5,14E-03
E03	7,98E-04	2,52E-03	3,32E-03
E04	6,63E-04	2,08E-03	2,75E-03
E05	4,66E-05	3,58E-03	3,63E-03
E06	1,36E-03	2,24E-03	3,60E-03
E07	8,63E-04	2,13E-03	2,99E-03
E08	5,67E-04	6,09E-03	6,66E-03
E09	1,15E-03	3,31E-03	4,47E-03
E10	6,48E-04	2,40E-03	3,04E-03
E11	6,48E-04	3,01E-03	3,66E-03
K01	1,30E-03	3,64E-03	4,94E-03
K02	1,53E-03	2,50E-03	4,02E-03
K03	1,36E-03	3,02E-03	4,38E-03
K04	1,08E-03	4,36E-03	5,44E-03
K05	1,43E-03	3,01E-03	4,44E-03
K06	1,47E-03	2,95E-03	4,42E-03
K07	1,32E-03	1,42E-02	1,56E-02
K08	2,23E-03	6,21E-03	8,44E-03
K09	1,67E-03	2,95E-03	4,61E-03
K10	1,88E-03	5,22E-03	7,10E-03
K11	2,00E-03	1,32E-03	3,32E-03
K12	2,02E-03	2,22E-03	4,24E-03
K13	1,45E-03	2,46E-03	3,92E-03
K14	1,58E-03	7,44E-03	9,02E-03
K15	1,48E-03	4,32E-03	5,80E-03
K16	1,44E-03	3,48E-03	4,92E-03
K17	2,50E-03	5,65E-03	8,15E-03
K18	3,67E-03	4,24E-03	7,91E-03
K19	2,02E-03	3,20E-03	5,23E-03
K20	1,73E-03	2,78E-03	4,51E-03
K21	2,01E-03	2,94E-03	4,95E-03
K22	1,62E-03	2,24E-03	3,85E-03
A05	1,99E-03	2,55E-03	4,54E-03
A06	1,99E-03	2,44E-03	4,43E-03
A07	1,45E-03	3,79E-03	5,24E-03
A08	1,54E-03	2,85E-03	4,39E-03
Nedre kvartil	7,98E-04	2,80E-03	4,22E-03
Median	1,30E-03	3,63E-03	4,82E-03
Øvre kvartil	1,58E-03	5,21E-03	6,35E-03

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).

TABEL 16. Resultater for cases for ADPe

kg Sb--ækv/m <sup>2</sup> /år			
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	2,25E-04	6,79E-05	2,93E-04
Enf02	2,01E-04	5,34E-05	2,54E-04
Enf03	1,90E-04	3,02E-04	4,92E-04
Enf04	1,89E-04	9,71E-05	2,86E-04
Enf05	2,12E-04	8,54E-05	2,97E-04
Enf06	2,12E-04	5,09E-05	2,63E-04
Enf07	3,14E-07	6,80E-05	6,84E-05
Enf08	2,13E-04	5,40E-05	2,67E-04
Enf09	1,06E-04	5,11E-05	1,57E-04
Enf10	2,06E-04	4,89E-05	2,55E-04
Enf11	-	2,44E-04	-
R01	1,23E-07	1,49E-04	1,49E-04
R02	2,12E-04	2,71E-04	4,83E-04
R03	1,84E-04	2,29E-04	4,13E-04
R04	2,31E-04	1,69E-04	4,00E-04
R05	2,60E-04	1,80E-04	4,41E-04
R06	1,60E-04	1,63E-04	3,23E-04
R07	2,00E-04	5,09E-05	2,51E-04
R08	1,96E-04	7,10E-05	2,67E-04
R09	2,05E-04	1,17E-04	3,22E-04
R10	1,96E-04	5,69E-05	2,53E-04
R11	2,11E-04	7,28E-05	2,84E-04
R12	3,93E-04	2,10E-04	6,03E-04
E01	1,43E-04	1,10E-04	2,53E-04
E02	1,45E-04	6,29E-05	2,08E-04
E03	1,83E-04	7,22E-05	2,55E-04
E04	1,71E-04	7,99E-05	2,51E-04
E05	1,15E-04	1,34E-04	2,49E-04
E06	2,12E-04	5,96E-04	8,08E-04
E07	1,43E-04	1,62E-04	3,05E-04
E08	1,87E-04	2,36E-04	4,23E-04
E09	1,65E-04	7,85E-05	2,43E-04
E10	1,62E-04	6,64E-05	2,28E-04
E11	1,62E-04	5,76E-05	2,19E-04
K01	1,66E-04	3,22E-04	4,88E-04
K02	1,26E-04	1,10E-04	2,36E-04
K03	1,13E-04	8,18E-05	1,95E-04
K04	1,11E-04	3,27E+00	3,27E+00
K05	1,32E-04	2,85E-04	4,17E-04
K06	9,34E-05	1,72E-04	2,65E-04
K07	1,41E-04	1,06E-04	2,47E-04
K08	1,56E-04	1,67E-04	3,24E-04
K09	1,11E-04	2,29E-04	3,39E-04
K10	1,23E-04	2,39E-04	3,62E-04
K11	5,51E-05	3,67E-05	9,19E-05
K12	1,65E-04	1,23E-04	2,87E-04
K13	1,11E-04	1,03E-04	2,14E-04
K14	1,05E-04	6,95E-05	1,75E-04
K15	1,49E-04	7,96E-05	2,28E-04
K16	9,80E-05	9,48E-05	1,93E-04
K17	1,43E-04	9,46E-05	2,38E-04
K18	8,28E-07	7,54E-05	7,62E-05
K19	1,25E-04	1,83E-04	3,08E-04
K20	1,18E-04	1,06E-04	2,24E-04
K21	1,35E-04	9,09E-05	2,26E-04
K22	1,09E-04	1,92E-04	3,01E-04
A05	1,88E-04	2,81E-04	4,69E-04
A06	1,88E-04	2,81E-04	4,69E-04
A07	1,46E-04	7,20E-05	2,18E-04
A08	1,44E-04	9,25E-05	2,37E-04
Nedre kvartil	1,18E-04	7,20E-05	2,29E-04
Median	1,60E-04	1,05E-04	2,64E-04
Øvre kvartil	1,96E-04	1,91E-04	3,40E-04

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).

TABEL 17. Resultater for cases for ADPf

	MJ/m <sup>2</sup> /år		
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	2,87E+01	5,96E+01	8,83E+01
Enf02	2,48E+01	8,21E+01	1,07E+02
Enf03	2,21E+01	7,21E+01	9,42E+01
Enf04	2,80E+01	8,03E+01	1,08E+02
Enf05	2,59E+01	4,15E+01	6,74E+01
Enf06	2,59E+01	9,14E+01	1,17E+02
Enf07	5,48E+00	8,73E+01	9,28E+01
Enf08	2,70E+01	9,91E+01	1,26E+02
Enf09	1,37E+01	7,46E+01	8,83E+01
Enf10	2,53E+01	9,49E+01	1,20E+02
Enf11	-	9,71E+01	-
R01	2,15E+00	8,43E+01	8,64E+01
R02	2,59E+01	8,24E+01	1,08E+02
R03	2,31E+01	9,45E+01	1,18E+02
R04	2,51E+01	1,09E+02	1,34E+02
R05	2,86E+01	1,19E+02	1,47E+02
R06	2,02E+01	4,52E+01	6,53E+01
R07	2,59E+01	7,26E+01	9,85E+01
R08	2,42E+01	7,25E+01	9,67E+01
R09	2,37E+01	6,73E+01	9,09E+01
R10	2,42E+01	6,44E+01	8,86E+01
R11	2,59E+01	7,29E+01	9,88E+01
R12	4,25E+01	6,21E+01	1,05E+02
E01	1,78E+01	6,43E+01	8,21E+01
E02	1,79E+01	6,26E+01	8,04E+01
E03	2,21E+01	5,04E+01	7,24E+01
E04	2,03E+01	5,81E+01	7,85E+01
E05	1,21E+01	7,12E+01	8,33E+01
E06	2,72E+01	8,95E+01	1,17E+02
E07	1,82E+01	5,84E+01	7,66E+01
E08	2,16E+01	8,42E+01	1,06E+02
E09	2,16E+01	6,33E+01	8,48E+01
E10	1,93E+01	6,68E+01	8,61E+01
E11	1,93E+01	8,90E+01	1,08E+02
K01	2,23E+01	6,79E+01	9,02E+01
K02	1,90E+01	4,58E+01	6,48E+01
K03	1,71E+01	7,86E+01	9,57E+01
K04	1,57E+01	6,06E+01	7,63E+01
K05	1,93E+01	9,03E+01	1,10E+02
K06	1,54E+01	6,48E+01	8,02E+01
K07	1,98E+01	1,02E+02	1,22E+02
K08	2,49E+01	9,74E+01	1,22E+02
K09	1,80E+01	7,33E+01	9,13E+01
K10	2,01E+01	1,15E+02	1,36E+02
K11	1,36E+01	4,44E+01	5,80E+01
K12	2,50E+01	6,14E+01	8,64E+01
K13	1,72E+01	4,35E+01	6,06E+01
K14	1,71E+01	7,95E+01	9,66E+01
K15	2,12E+01	5,92E+01	8,04E+01
K16	1,58E+01	6,00E+01	7,58E+01
K17	2,46E+01	7,00E+01	9,46E+01
K18	1,45E+01	8,56E+01	1,00E+02
K19	2,09E+01	5,61E+01	7,69E+01
K20	1,90E+01	8,25E+01	1,02E+02
K21	2,18E+01	5,41E+01	7,59E+01
K22	1,76E+01	5,50E+01	7,26E+01
A05	2,72E+01	7,18E+01	9,90E+01
A06	2,72E+01	7,17E+01	9,89E+01
A07	2,08E+01	9,48E+01	1,16E+02
A08	2,10E+01	6,91E+01	9,00E+01
Nedre kvartil	1,79E+01	6,09E+01	8,05E+01
Median	2,12E+01	7,21E+01	9,29E+01
Øvre kvartil	2,51E+01	8,70E+01	1,08E+02

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).

TABEL 18. Resultater for cases for PETot

	kWh/m <sup>2</sup> /år		
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	2,36E+01	2,47E+01	4,84E+01
Enf02	1,91E+01	3,41E+01	5,32E+01
Enf03	1,49E+01	3,69E+01	5,17E+01
Enf04	2,89E+01	3,31E+01	6,21E+01
Enf05	1,95E+01	3,41E+01	5,36E+01
Enf06	1,95E+01	3,50E+01	5,44E+01
Enf07	1,30E+01	3,86E+01	5,16E+01
Enf08	2,18E+01	4,11E+01	6,29E+01
Enf09	1,14E+01	3,82E+01	4,95E+01
Enf10	1,93E+01	3,53E+01	5,46E+01
Enf11	-	4,64E+01	-
R01	5,08E+00	3,22E+01	3,73E+01
R02	1,95E+01	3,63E+01	5,58E+01
R03	1,83E+01	3,31E+01	5,14E+01
R04	1,36E+01	3,92E+01	5,28E+01
R05	1,63E+01	4,58E+01	6,22E+01
R06	1,61E+01	2,87E+01	4,48E+01
R07	2,18E+01	2,86E+01	5,04E+01
R08	1,85E+01	2,74E+01	4,59E+01
R09	1,55E+01	3,64E+01	5,19E+01
R10	1,85E+01	4,78E+01	6,64E+01
R11	1,97E+01	3,64E+01	5,61E+01
R12	2,28E+01	3,06E+01	5,34E+01
E01	1,40E+01	2,41E+01	3,81E+01
E02	1,36E+01	2,19E+01	3,56E+01
E03	1,61E+01	1,73E+01	3,34E+01
E04	1,43E+01	2,28E+01	3,71E+01
E05	5,85E+00	2,55E+01	3,14E+01
E06	2,26E+01	3,32E+01	5,58E+01
E07	1,48E+01	3,66E+01	5,14E+01
E08	1,41E+01	2,94E+01	4,35E+01
E09	1,85E+01	2,12E+01	3,98E+01
E10	1,37E+01	2,41E+01	3,78E+01
E11	1,37E+01	3,25E+01	4,62E+01
K01	2,00E+01	2,48E+01	4,48E+01
K02	2,02E+01	1,96E+01	3,98E+01
K03	1,80E+01	2,66E+01	4,46E+01
K04	1,53E+01	2,04E+01	3,57E+01
K05	1,96E+01	3,48E+01	5,44E+01
K06	1,81E+01	2,29E+01	4,10E+01
K07	1,89E+01	3,40E+01	5,29E+01
K08	2,82E+01	3,62E+01	6,44E+01
K09	2,08E+01	2,71E+01	4,79E+01
K10	2,33E+01	3,96E+01	6,29E+01
K11	2,13E+01	1,64E+01	3,77E+01
K12	2,66E+01	2,02E+01	4,68E+01
K13	1,88E+01	1,66E+01	3,54E+01
K14	1,97E+01	2,63E+01	4,60E+01
K15	2,08E+01	2,04E+01	4,13E+01
K16	1,81E+01	2,22E+01	4,03E+01
K17	3,00E+01	2,69E+01	5,69E+01
K18	3,42E+01	3,12E+01	6,55E+01
K19	2,48E+01	2,27E+01	4,75E+01
K20	2,17E+01	2,76E+01	4,93E+01
K21	2,51E+01	1,87E+01	4,38E+01
K22	2,02E+01	2,04E+01	4,07E+01
A05	2,74E+01	3,00E+01	5,74E+01
A06	2,74E+01	3,32E+01	6,06E+01
A07	2,04E+01	3,72E+01	5,76E+01
A08	2,12E+01	2,41E+01	4,53E+01
Nedre kvartil	1,55E+01	2,33E+01	4,11E+01
Median	1,95E+01	2,98E+01	4,94E+01
Øvre kvartil	2,18E+01	3,61E+01	5,47E+01

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).

TABEL 19. Resultater for cases for Sek

	kWh/m <sup>2</sup> /år		
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	4,20E-01	7,81E-01	1,20E+00
Enf02	2,72E-01	7,94E-01	1,07E+00
Enf03	8,67E-02	1,82E-01	2,69E-01
Enf04	8,28E-01	6,88E-01	1,52E+00
Enf05	2,48E-01	3,23E-01	5,70E-01
Enf06	2,48E-01	6,59E-01	9,07E-01
Enf07	6,79E-01	1,06E+00	1,74E+00
Enf08	3,69E-01	1,01E+00	1,38E+00
Enf09	2,08E-01	5,67E-01	7,75E-01
Enf10	2,60E-01	1,02E+00	1,28E+00
Enf11	-	1,06E+00	-
R01	2,66E-01	7,74E-01	1,04E+00
R02	2,48E-01	4,55E-01	7,03E-01
R03	2,88E-01	7,59E-01	1,05E+00
R04	-1,31E-01	1,61E+00	1,48E+00
R05	-9,43E-02	1,28E+00	1,19E+00
R06	2,60E-01	5,69E-01	8,29E-01
R07	4,12E-01	2,28E-01	6,39E-01
R08	2,57E-01	1,53E+00	1,78E+00
R09	6,35E-02	5,86E-01	6,49E-01
R10	2,57E-01	5,52E-01	8,08E-01
R11	2,61E-01	9,05E-01	1,17E+00
R12	-2,35E-01	8,65E-01	6,30E-01
E01	2,12E-01	1,74E+00	1,95E+00
E02	1,87E-01	1,88E+00	2,07E+00
E03	1,76E-01	2,08E+00	2,25E+00
E04	1,23E-01	2,02E+00	2,15E+00
E05	-1,12E-01	2,80E+00	2,69E+00
E06	4,15E-01	1,41E+00	1,82E+00
E07	2,54E-01	6,95E-01	9,50E-01
E08	5,78E-02	1,76E+00	1,82E+00
E09	3,71E-01	1,43E+00	1,80E+00
E10	1,27E-01	2,37E+00	2,50E+00
E11	1,27E-01	1,93E+00	2,06E+00
K01	4,43E-01	1,13E+00	1,57E+00
K02	5,99E-01	2,25E+00	2,85E+00
K03	5,32E-01	1,76E+00	2,29E+00
K04	3,98E-01	1,58E+00	1,98E+00
K05	5,45E-01	1,39E+00	1,94E+00
K06	6,10E-01	1,09E+00	1,70E+00
K07	4,78E-01	2,25E+00	2,73E+00
K08	9,09E-01	7,96E-01	1,71E+00
K09	6,85E-01	1,62E+00	2,31E+00
K10	7,73E-01	1,71E+00	2,48E+00
K11	9,14E-01	1,62E+00	2,54E+00
K12	7,93E-01	1,17E+00	1,97E+00
K13	5,80E-01	1,06E+00	1,64E+00
K14	6,49E-01	1,45E+00	2,10E+00
K15	5,50E-01	1,67E+00	2,22E+00
K16	5,90E-01	1,40E+00	1,99E+00
K17	1,05E+00	1,36E+00	2,42E+00
K18	1,79E+00	2,82E+00	4,61E+00
K19	8,44E-01	2,12E+00	2,97E+00
K20	7,08E-01	2,21E+00	2,91E+00
K21	8,26E-01	1,92E+00	2,75E+00
K22	6,64E-01	1,28E+00	1,94E+00
A05	7,51E-01	5,69E-01	1,32E+00
A06	7,51E-01	4,29E-01	1,18E+00
A07	5,35E-01	1,47E+00	2,01E+00
A08	5,84E-01	1,73E+00	2,32E+00
Nedre kvartil	2,48E-01	7,76E-01	1,17E+00
Median	4,12E-01	1,32E+00	1,80E+00
Øvre kvartil	6,64E-01	1,74E+00	2,25E+00

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).

## **BILAG V: DETALJEREDE LCA-RESULTATER VED 80 ÅRS BETRAGTNINGSPERIODE**

I tabel 20 til 28 præsenteres miljøpåvirkningerne for alle faser for de 60 case-bygninger ved 80 års betragtningsperiode samt for alle miljøpåvirkningskategorier, som er inkluderet i

LCAByg version 4.0 (beta):

- Global opvarmning (GWP, i kg CO<sub>2</sub>-eq)
- Ozonlagsnedbrydning (ODP, i kg R11-eq)
- Forsuring (AP, i kg SO<sub>2</sub>-eq)
- Næringssaltbelastning (EP, i kg PO<sub>4</sub>-eq)
- Fotokemisk ozondannelse (POCP, i kg etilen-eq)
- Udtømning af abiotiske ressourcer – grundstoffer (ADPe, i SB-eq)
- Udtømning af abiotiske ressourcer – fossile brændsler (ADPf, i MJ)
- Primærenergiforbruget (PEtot, i MJ eller kWh)
- Forbrug af sekundære brændsler (SEK, i MJ eller kWh)



TABEL 20. Resultater for cases for GWP

	kg CO <sub>2</sub> -ækv/m <sup>2</sup> /år		
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	2,82E+00	4,95E+00	7,77E+00
Enf02	2,45E+00	5,19E+00	7,64E+00
Enf03	2,21E+00	4,56E+00	6,76E+00
Enf04	2,67E+00	6,26E+00	8,94E+00
Enf05	2,56E+00	3,11E+00	5,67E+00
Enf06	2,56E+00	5,82E+00	8,38E+00
Enf07	4,40E-01	6,61E+00	7,05E+00
Enf08	2,65E+00	8,54E+00	1,12E+01
Enf09	1,34E+00	5,53E+00	6,86E+00
Enf10	2,50E+00	6,76E+00	9,26E+00
Enf11	-	7,30E+00	-
R01	1,72E-01	6,47E+00	6,64E+00
R02	2,56E+00	6,37E+00	8,93E+00
R03	2,27E+00	6,72E+00	8,99E+00
R04	2,54E+00	9,06E+00	1,16E+01
R05	2,89E+00	9,50E+00	1,24E+01
R06	1,98E+00	3,60E+00	5,59E+00
R07	2,53E+00	5,42E+00	7,95E+00
R08	2,39E+00	5,79E+00	8,17E+00
R09	2,37E+00	5,28E+00	7,65E+00
R10	2,39E+00	5,09E+00	7,48E+00
R11	2,56E+00	5,26E+00	7,82E+00
R12	4,30E+00	4,44E+00	8,75E+00
E01	1,76E+00	5,04E+00	6,79E+00
E02	1,76E+00	5,11E+00	6,87E+00
E03	2,19E+00	4,80E+00	6,99E+00
E04	2,02E+00	5,52E+00	7,54E+00
E05	1,23E+00	7,15E+00	8,38E+00
E06	2,67E+00	7,33E+00	1,00E+01
E07	1,78E+00	3,80E+00	5,58E+00
E08	2,16E+00	6,85E+00	9,01E+00
E09	2,11E+00	5,04E+00	7,15E+00
E10	1,92E+00	6,26E+00	8,18E+00
E11	1,92E+00	6,33E+00	8,24E+00
K01	2,17E+00	6,14E+00	8,30E+00
K02	1,81E+00	4,24E+00	6,06E+00
K03	1,63E+00	6,95E+00	8,57E+00
K04	1,51E+00	5,33E+00	6,85E+00
K05	1,85E+00	7,31E+00	9,16E+00
K06	1,45E+00	5,11E+00	6,56E+00
K07	1,91E+00	8,32E+00	1,02E+01
K08	2,36E+00	7,90E+00	1,03E+01
K09	1,69E+00	6,04E+00	7,73E+00
K10	1,89E+00	9,27E+00	1,12E+01
K11	1,21E+00	3,71E+00	4,92E+00
K12	2,38E+00	5,28E+00	7,66E+00
K13	1,63E+00	4,13E+00	5,77E+00
K14	1,61E+00	6,37E+00	7,98E+00
K15	2,04E+00	4,80E+00	6,84E+00
K16	1,49E+00	5,56E+00	7,05E+00
K17	2,30E+00	5,88E+00	8,18E+00
K18	1,16E+00	7,88E+00	9,04E+00
K19	1,96E+00	5,30E+00	7,26E+00
K20	1,79E+00	6,86E+00	8,65E+00
K21	2,06E+00	4,76E+00	6,81E+00
K22	1,66E+00	4,60E+00	6,26E+00
A05	2,61E+00	5,66E+00	8,27E+00
A06	2,61E+00	5,48E+00	8,10E+00
A07	2,00E+00	7,24E+00	9,25E+00
A08	2,01E+00	6,05E+00	8,06E+00
Nedre kvartil	1,76E+00	5,06E+00	6,86E+00
Median	2,04E+00	5,72E+00	7,95E+00
Øvre kvartil	2,50E+00	6,83E+00	8,93E+00

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).

TABEL 21. Resultater for cases for ODP

kg R11-ækv/m <sup>2</sup> /år			
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	2,29E-10	2,60E-08	2,62E-08
Enf02	2,01E-10	3,23E-08	3,25E-08
Enf03	1,85E-10	7,65E-08	7,67E-08
Enf04	2,08E-10	4,38E-08	4,40E-08
Enf05	2,11E-10	7,15E-08	7,17E-08
Enf06	2,11E-10	4,36E-08	4,38E-08
Enf07	2,22E-11	1,22E-07	1,22E-07
Enf08	2,16E-10	1,99E-07	1,99E-07
Enf09	1,09E-10	5,21E-08	5,22E-08
Enf10	2,06E-10	1,48E-07	1,48E-07
Enf11	-	1,12E-07	-
R01	8,70E-12	8,67E-09	8,68E-09
R02	2,11E-10	2,26E-08	2,28E-08
R03	1,86E-10	6,89E-09	7,08E-09
R04	2,18E-10	1,35E-08	1,37E-08
R05	2,47E-10	1,53E-08	1,56E-08
R06	1,62E-10	2,88E-08	2,90E-08
R07	2,05E-10	2,77E-08	2,79E-08
R08	1,96E-10	9,47E-08	9,49E-08
R09	1,99E-10	4,09E-08	4,11E-08
R10	1,96E-10	8,26E-08	8,28E-08
R11	2,11E-10	1,31E-07	1,31E-07
R12	3,69E-10	3,31E-08	3,34E-08
E01	1,44E-10	1,63E-08	1,64E-08
E02	1,45E-10	7,34E-09	7,48E-09
E03	1,81E-10	1,21E-08	1,23E-08
E04	1,68E-10	8,48E-09	8,64E-09
E05	1,07E-10	1,47E-08	1,48E-08
E06	2,16E-10	3,14E-09	3,36E-09
E07	1,45E-10	7,38E-08	7,39E-08
E08	1,81E-10	7,95E-09	8,13E-09
E09	1,70E-10	6,79E-09	6,96E-09
E10	1,59E-10	1,72E-08	1,74E-08
E11	1,59E-10	5,32E-08	5,34E-08
K01	1,73E-10	5,63E-09	5,80E-09
K02	1,40E-10	7,30E-09	7,44E-09
K03	1,26E-10	8,12E-08	8,13E-08
K04	1,19E-10	8,04E-09	8,16E-09
K05	1,44E-10	1,67E-08	1,68E-08
K06	1,09E-10	7,28E-09	7,39E-09
K07	1,51E-10	1,40E-08	1,42E-08
K08	1,79E-10	7,89E-09	8,07E-09
K09	1,28E-10	6,26E-09	6,39E-09
K10	1,43E-10	1,60E-08	1,61E-08
K11	8,24E-11	1,19E-08	1,20E-08
K12	1,84E-10	4,16E-09	4,34E-09
K13	1,25E-10	4,14E-09	4,27E-09
K14	1,22E-10	9,09E-09	9,21E-09
K15	1,61E-10	8,21E-09	8,37E-09
K16	1,13E-10	7,37E-09	7,49E-09
K17	1,71E-10	7,04E-09	7,21E-09
K18	5,86E-11	5,42E-09	5,48E-09
K19	1,47E-10	3,61E-08	3,62E-08
K20	1,36E-10	1,57E-08	1,58E-08
K21	1,56E-10	6,50E-09	6,65E-09
K22	1,26E-10	5,53E-09	5,65E-09
A05	2,04E-10	2,13E-08	2,15E-08
A06	2,04E-10	2,04E-08	2,06E-08
A07	1,58E-10	1,00E-08	1,02E-08
A08	1,57E-10	7,36E-09	7,51E-09
Nedre kvartil	1,36E-10	7,36E-09	7,49E-09
Median	1,62E-10	1,55E-08	1,56E-08
Øvre kvartil	2,04E-10	4,29E-08	4,11E-08

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).

TABEL 22. Resultater for cases for AP

kg SO <sub>2</sub> --ækv/m <sup>2</sup> /år			
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	1,15E-02	1,45E-02	2,60E-02
Enf02	9,44E-03	1,28E-02	2,22E-02
Enf03	7,52E-03	1,95E-02	2,70E-02
Enf04	1,36E-02	1,27E-02	2,63E-02
Enf05	9,65E-03	1,11E-02	2,08E-02
Enf06	9,65E-03	1,53E-02	2,49E-02
Enf07	5,62E-03	1,29E-02	1,85E-02
Enf08	1,07E-02	2,44E-02	3,51E-02
Enf09	5,53E-03	1,49E-02	2,04E-02
Enf10	9,52E-03	1,80E-02	2,75E-02
Enf11	-	2,03E-02	-
R01	2,20E-03	2,24E-02	2,46E-02
R02	9,65E-03	2,18E-02	3,15E-02
R03	8,98E-03	1,98E-02	2,87E-02
R04	7,21E-03	2,47E-02	3,19E-02
R05	8,56E-03	2,42E-02	3,28E-02
R06	7,88E-03	9,18E-03	1,71E-02
R07	1,06E-02	1,25E-02	2,31E-02
R08	9,15E-03	1,35E-02	2,26E-02
R09	7,88E-03	1,39E-02	2,18E-02
R10	9,15E-03	1,53E-02	2,45E-02
R11	9,72E-03	1,39E-02	2,36E-02
R12	1,21E-02	1,36E-02	2,57E-02
E01	6,87E-03	1,28E-02	1,97E-02
E02	6,74E-03	1,19E-02	1,86E-02
E03	8,01E-03	1,26E-02	2,06E-02
E04	7,16E-03	1,64E-02	2,36E-02
E05	3,19E-03	1,51E-02	1,83E-02
E06	1,10E-02	1,77E-02	2,87E-02
E07	7,22E-03	1,20E-02	1,92E-02
E08	7,18E-03	1,66E-02	2,38E-02
E09	8,97E-03	1,12E-02	2,02E-02
E10	6,85E-03	1,38E-02	2,07E-02
E11	6,85E-03	1,68E-02	2,37E-02
K01	9,60E-03	1,88E-02	2,84E-02
K02	9,46E-03	1,02E-02	1,97E-02
K03	8,45E-03	2,02E-02	2,87E-02
K04	7,27E-03	1,22E-02	1,94E-02
K05	9,24E-03	2,44E-02	3,36E-02
K06	8,38E-03	1,38E-02	2,21E-02
K07	9,01E-03	1,78E-02	2,68E-02
K08	1,31E-02	2,38E-02	3,69E-02
K09	9,62E-03	1,69E-02	2,65E-02
K10	1,08E-02	2,37E-02	3,45E-02
K11	9,52E-03	9,31E-03	1,88E-02
K12	1,25E-02	1,62E-02	2,87E-02
K13	8,77E-03	1,20E-02	2,08E-02
K14	9,13E-03	1,34E-02	2,25E-02
K15	9,87E-03	1,12E-02	2,10E-02
K16	8,38E-03	1,53E-02	2,37E-02
K17	1,38E-02	1,38E-02	2,76E-02
K18	1,48E-02	1,95E-02	3,43E-02
K19	1,14E-02	1,32E-02	2,46E-02
K20	1,01E-02	2,03E-02	3,03E-02
K21	1,16E-02	1,16E-02	2,32E-02
K22	9,38E-03	1,24E-02	2,18E-02
A05	1,29E-02	1,88E-02	3,18E-02
A06	1,29E-02	1,83E-02	3,12E-02
A07	9,67E-03	2,17E-02	3,14E-02
A08	9,99E-03	1,66E-02	2,66E-02
Nedre kvartil	7,88E-03	1,27E-02	2,08E-02
Median	9,38E-03	1,52E-02	2,45E-02
Øvre kvartil	1,06E-02	1,93E-02	2,87E-02

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).

TABEL 23. Resultater for cases for EP

kg PO <sub>4</sub> --ækv/m <sup>2</sup> /år			
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	2,25E-03	1,77E-03	4,02E-03
Enf02	1,80E-03	1,74E-03	3,54E-03
Enf03	1,36E-03	2,84E-03	4,20E-03
Enf04	2,85E-03	1,82E-03	4,67E-03
Enf05	1,82E-03	1,72E-03	3,54E-03
Enf06	1,82E-03	2,17E-03	3,99E-03
Enf07	1,37E-03	1,66E-03	3,03E-03
Enf08	2,07E-03	3,12E-03	5,19E-03
Enf09	1,08E-03	2,27E-03	3,36E-03
Enf10	1,81E-03	2,46E-03	4,27E-03
Enf11	-	2,57E-03	-
R01	5,37E-04	2,25E-03	2,79E-03
R02	1,82E-03	2,65E-03	4,47E-03
R03	1,73E-03	1,93E-03	3,66E-03
R04	1,18E-03	2,48E-03	3,66E-03
R05	1,44E-03	2,47E-03	3,91E-03
R06	1,52E-03	1,35E-03	2,87E-03
R07	2,08E-03	1,84E-03	3,92E-03
R08	1,74E-03	1,70E-03	3,44E-03
R09	1,41E-03	1,98E-03	3,38E-03
R10	1,74E-03	2,36E-03	4,10E-03
R11	1,84E-03	1,88E-03	3,72E-03
R12	1,98E-03	1,94E-03	3,92E-03
E01	1,32E-03	1,50E-03	2,82E-03
E02	1,28E-03	1,51E-03	2,80E-03
E03	1,50E-03	1,71E-03	3,20E-03
E04	1,32E-03	2,15E-03	3,47E-03
E05	4,91E-04	2,02E-03	2,51E-03
E06	2,16E-03	2,08E-03	4,24E-03
E07	1,40E-03	1,76E-03	3,16E-03
E08	1,28E-03	1,88E-03	3,16E-03
E09	1,78E-03	1,44E-03	3,22E-03
E10	1,27E-03	1,77E-03	3,04E-03
E11	1,27E-03	1,97E-03	3,23E-03
K01	1,93E-03	2,04E-03	3,97E-03
K02	1,99E-03	1,30E-03	3,30E-03
K03	1,78E-03	2,18E-03	3,95E-03
K04	1,50E-03	1,41E-03	2,91E-03
K05	1,92E-03	2,89E-03	4,82E-03
K06	1,81E-03	1,49E-03	3,30E-03
K07	1,84E-03	2,21E-03	4,05E-03
K08	2,81E-03	3,11E-03	5,92E-03
K09	2,07E-03	2,36E-03	4,44E-03
K10	2,33E-03	3,12E-03	5,44E-03
K11	2,19E-03	1,22E-03	3,40E-03
K12	2,63E-03	2,48E-03	5,11E-03
K13	1,86E-03	1,49E-03	3,35E-03
K14	1,97E-03	1,81E-03	3,77E-03
K15	2,04E-03	1,40E-03	3,43E-03
K16	1,80E-03	2,12E-03	3,92E-03
K17	3,01E-03	1,92E-03	4,94E-03
K18	3,62E-03	2,36E-03	5,98E-03
K19	2,48E-03	1,84E-03	4,32E-03
K20	2,16E-03	3,00E-03	5,16E-03
K21	2,50E-03	1,47E-03	3,98E-03
K22	2,02E-03	1,56E-03	3,58E-03
A05	2,69E-03	2,46E-03	5,15E-03
A06	2,69E-03	2,54E-03	5,22E-03
A07	1,99E-03	2,39E-03	4,38E-03
A08	2,08E-03	2,19E-03	4,26E-03
Nedre kvartil	1,44E-03	1,71E-03	3,30E-03
Median	1,82E-03	1,97E-03	3,91E-03
Øvre kvartil	2,08E-03	2,38E-03	4,32E-03

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).

TABEL 24. Resultater for cases for POCP

	kg ethen--ækv/m <sup>2</sup> /år		
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	1,14E-03	2,34E-03	3,48E-03
Enf02	8,49E-04	2,96E-03	3,81E-03
Enf03	5,22E-04	9,59E-04	1,48E-03
Enf04	1,74E-03	3,69E-03	5,43E-03
Enf05	8,31E-04	1,50E-03	2,33E-03
Enf06	8,31E-04	3,56E-03	4,39E-03
Enf07	1,12E-03	5,25E-03	6,37E-03
Enf08	1,03E-03	6,06E-03	7,09E-03
Enf09	5,54E-04	3,17E-03	3,72E-03
Enf10	8,38E-04	4,82E-03	5,66E-03
Enf11	-	5,50E-03	-
R01	4,37E-04	3,13E-03	3,56E-03
R02	8,31E-04	3,33E-03	4,16E-03
R03	8,41E-04	3,73E-03	4,57E-03
R04	2,47E-04	5,24E-03	5,48E-03
R05	3,67E-04	7,14E-03	7,50E-03
R06	7,47E-04	2,55E-03	3,29E-03
R07	1,08E-03	3,75E-03	4,83E-03
R08	8,14E-04	2,93E-03	3,75E-03
R09	5,15E-04	2,83E-03	3,35E-03
R10	8,14E-04	2,85E-03	3,66E-03
R11	8,51E-04	3,00E-03	3,85E-03
R12	4,00E-04	3,09E-03	3,49E-03
E01	6,35E-04	2,30E-03	2,94E-03
E02	5,97E-04	3,20E-03	3,80E-03
E03	6,55E-04	2,26E-03	2,92E-03
E04	5,45E-04	1,87E-03	2,42E-03
E05	4,59E-05	2,75E-03	2,79E-03
E06	1,11E-03	1,84E-03	2,95E-03
E07	7,04E-04	1,66E-03	2,36E-03
E08	4,69E-04	5,06E-03	5,53E-03
E09	9,39E-04	2,36E-03	3,30E-03
E10	5,32E-04	1,79E-03	2,32E-03
E11	5,32E-04	2,17E-03	2,71E-03
K01	1,06E-03	2,84E-03	3,90E-03
K02	1,24E-03	1,79E-03	3,02E-03
K03	1,10E-03	2,87E-03	3,97E-03
K04	8,76E-04	4,04E-03	4,91E-03
K05	1,16E-03	2,55E-03	3,70E-03
K06	1,19E-03	2,43E-03	3,62E-03
K07	1,07E-03	1,45E-02	1,56E-02
K08	1,81E-03	5,98E-03	7,78E-03
K09	1,35E-03	2,34E-03	3,69E-03
K10	1,52E-03	5,25E-03	6,77E-03
K11	1,61E-03	9,47E-04	2,56E-03
K12	1,63E-03	1,80E-03	3,43E-03
K13	1,18E-03	1,99E-03	3,16E-03
K14	1,28E-03	6,50E-03	7,78E-03
K15	1,20E-03	3,27E-03	4,47E-03
K16	1,17E-03	3,05E-03	4,22E-03
K17	2,01E-03	5,11E-03	7,12E-03
K18	2,94E-03	3,12E-03	6,06E-03
K19	1,64E-03	2,87E-03	4,50E-03
K20	1,40E-03	2,33E-03	3,73E-03
K21	1,63E-03	2,10E-03	3,73E-03
K22	1,31E-03	1,64E-03	2,95E-03
A05	1,61E-03	2,20E-03	3,81E-03
A06	1,61E-03	2,14E-03	3,75E-03
A07	1,17E-03	2,69E-03	3,86E-03
A08	1,25E-03	2,19E-03	3,43E-03
Nedre kvartil	6,55E-04	2,19E-03	3,29E-03
Median	1,06E-03	2,86E-03	3,75E-03
Øvre kvartil	1,28E-03	3,72E-03	4,83E-03

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).

TABEL 25. Resultater for cases for ADPe

kg Sb--ækv/m <sup>2</sup> /år			
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	2,15E-04	5,19E-05	2,67E-04
Enf02	1,92E-04	5,39E-05	2,46E-04
Enf03	1,81E-04	2,02E-04	3,83E-04
Enf04	1,81E-04	6,88E-05	2,49E-04
Enf05	2,03E-04	7,19E-05	2,75E-04
Enf06	2,03E-04	4,45E-05	2,47E-04
Enf07	3,20E-07	6,37E-05	6,41E-05
Enf08	2,03E-04	5,19E-05	2,55E-04
Enf09	1,02E-04	4,26E-05	1,44E-04
Enf10	1,97E-04	4,29E-05	2,40E-04
Enf11	-	2,24E-04	-
R01	1,25E-07	1,36E-04	1,36E-04
R02	2,03E-04	2,25E-04	4,27E-04
R03	1,76E-04	1,86E-04	3,62E-04
R04	2,21E-04	1,66E-04	3,87E-04
R05	2,49E-04	1,84E-04	4,33E-04
R06	1,53E-04	1,12E-04	2,65E-04
R07	1,91E-04	4,48E-05	2,36E-04
R08	1,87E-04	6,40E-05	2,51E-04
R09	1,96E-04	8,81E-05	2,84E-04
R10	1,87E-04	5,05E-05	2,38E-04
R11	2,02E-04	6,23E-05	2,64E-04
R12	3,76E-04	1,71E-04	5,47E-04
E01	1,37E-04	7,97E-05	2,16E-04
E02	1,38E-04	5,67E-05	1,95E-04
E03	1,75E-04	6,16E-05	2,36E-04
E04	1,64E-04	7,17E-05	2,36E-04
E05	1,10E-04	1,12E-04	2,22E-04
E06	2,02E-04	3,94E-04	5,96E-04
E07	1,37E-04	1,14E-04	2,50E-04
E08	1,79E-04	1,81E-04	3,59E-04
E09	1,58E-04	6,67E-05	2,24E-04
E10	1,55E-04	6,66E-05	2,21E-04
E11	1,55E-04	4,81E-05	2,03E-04
K01	1,59E-04	3,43E-04	5,02E-04
K02	1,20E-04	7,85E-05	1,99E-04
K03	1,08E-04	7,35E-05	1,82E-04
K04	1,06E-04	4,09E+00	4,09E+00
K05	1,26E-04	2,60E-04	3,86E-04
K06	8,93E-05	1,25E-04	2,14E-04
K07	1,35E-04	9,57E-05	2,31E-04
K08	1,49E-04	1,54E-04	3,04E-04
K09	1,06E-04	1,67E-04	2,72E-04
K10	1,18E-04	1,95E-04	3,13E-04
K11	5,27E-05	3,04E-05	8,32E-05
K12	1,58E-04	8,72E-05	2,45E-04
K13	1,06E-04	9,22E-05	1,98E-04
K14	1,01E-04	5,90E-05	1,60E-04
K15	1,42E-04	7,09E-05	2,13E-04
K16	9,36E-05	8,44E-05	1,78E-04
K17	1,37E-04	8,01E-05	2,17E-04
K18	8,44E-07	5,82E-05	5,91E-05
K19	1,19E-04	2,09E-04	3,28E-04
K20	1,13E-04	9,28E-05	2,06E-04
K21	1,29E-04	7,97E-05	2,08E-04
K22	1,04E-04	1,62E-04	2,66E-04
A05	1,79E-04	2,60E-04	4,40E-04
A06	1,79E-04	2,60E-04	4,40E-04
A07	1,40E-04	6,62E-05	2,06E-04
A08	1,38E-04	8,83E-05	2,26E-04
Nedre kvartil	1,13E-04	6,26E-05	2,08E-04
Median	1,53E-04	8,58E-05	2,45E-04
Øvre kvartil	1,87E-04	1,70E-04	3,13E-04

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).

TABEL 26. Resultater for cases for ADPf

	MJ/m <sup>2</sup> /år		
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	2,59E+01	5,04E+01	7,63E+01
Enf02	2,24E+01	6,11E+01	8,35E+01
Enf03	2,01E+01	5,63E+01	7,64E+01
Enf04	2,47E+01	6,79E+01	9,26E+01
Enf05	2,35E+01	3,58E+01	5,93E+01
Enf06	2,35E+01	6,65E+01	9,00E+01
Enf07	4,34E+00	8,09E+01	8,52E+01
Enf08	2,43E+01	9,34E+01	1,18E+02
Enf09	1,23E+01	6,38E+01	7,61E+01
Enf10	2,29E+01	7,67E+01	9,96E+01
Enf11	-	8,00E+01	-
R01	1,70E+00	7,02E+01	7,19E+01
R02	2,35E+01	7,17E+01	9,52E+01
R03	2,08E+01	8,03E+01	1,01E+02
R04	2,30E+01	9,67E+01	1,20E+02
R05	2,63E+01	1,11E+02	1,37E+02
R06	1,82E+01	3,80E+01	5,61E+01
R07	2,33E+01	6,84E+01	9,17E+01
R08	2,19E+01	5,94E+01	8,13E+01
R09	2,16E+01	6,02E+01	8,17E+01
R10	2,19E+01	5,69E+01	7,88E+01
R11	2,34E+01	5,74E+01	8,08E+01
R12	3,91E+01	4,83E+01	8,74E+01
E01	1,61E+01	4,88E+01	6,49E+01
E02	1,61E+01	4,77E+01	6,39E+01
E03	2,00E+01	4,19E+01	6,19E+01
E04	1,85E+01	4,95E+01	6,80E+01
E05	1,11E+01	6,45E+01	7,57E+01
E06	2,45E+01	7,50E+01	9,95E+01
E07	1,64E+01	4,73E+01	6,37E+01
E08	1,97E+01	7,20E+01	9,16E+01
E09	1,94E+01	5,09E+01	7,03E+01
E10	1,75E+01	5,86E+01	7,61E+01
E11	1,75E+01	6,59E+01	8,34E+01
K01	1,99E+01	6,15E+01	8,14E+01
K02	1,68E+01	3,48E+01	5,16E+01
K03	1,51E+01	7,30E+01	8,80E+01
K04	1,40E+01	5,24E+01	6,63E+01
K05	1,71E+01	7,79E+01	9,50E+01
K06	1,35E+01	5,68E+01	7,04E+01
K07	1,76E+01	8,91E+01	1,07E+02
K08	2,19E+01	9,03E+01	1,12E+02
K09	1,58E+01	5,98E+01	7,55E+01
K10	1,76E+01	1,05E+02	1,23E+02
K11	1,15E+01	3,31E+01	4,46E+01
K12	2,20E+01	5,36E+01	7,56E+01
K13	1,51E+01	3,94E+01	5,45E+01
K14	1,50E+01	6,88E+01	8,38E+01
K15	1,88E+01	4,61E+01	6,49E+01
K16	1,39E+01	5,34E+01	6,72E+01
K17	2,15E+01	6,31E+01	8,45E+01
K18	1,14E+01	7,06E+01	8,20E+01
K19	1,82E+01	4,75E+01	6,58E+01
K20	1,67E+01	7,28E+01	8,95E+01
K21	1,91E+01	4,27E+01	6,18E+01
K22	1,54E+01	4,67E+01	6,22E+01
A05	2,41E+01	6,35E+01	8,77E+01
A06	2,41E+01	6,56E+01	8,97E+01
A07	1,85E+01	6,98E+01	8,83E+01
A08	1,86E+01	5,85E+01	7,71E+01
Nedre kvartil	1,61E+01	4,98E+01	6,72E+01
Median	1,88E+01	6,13E+01	8,13E+01
Øvre kvartil	2,29E+01	7,19E+01	9,00E+01

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).

TABEL 27. Resultater for cases for PETot

	kWh/m <sup>2</sup> /år		
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	2,15E+01	1,99E+01	4,15E+01
Enf02	1,74E+01	2,44E+01	4,18E+01
Enf03	1,33E+01	2,99E+01	4,32E+01
Enf04	2,68E+01	2,87E+01	5,54E+01
Enf05	1,76E+01	2,50E+01	4,26E+01
Enf06	1,76E+01	2,68E+01	4,44E+01
Enf07	1,24E+01	3,78E+01	5,01E+01
Enf08	1,99E+01	3,68E+01	5,67E+01
Enf09	1,04E+01	3,05E+01	4,08E+01
Enf10	1,75E+01	2,91E+01	4,66E+01
Enf11	-	3,80E+01	-
R01	4,85E+00	2,73E+01	3,22E+01
R02	1,76E+01	2,97E+01	4,73E+01
R03	1,66E+01	2,78E+01	4,44E+01
R04	1,19E+01	3,55E+01	4,75E+01
R05	1,44E+01	4,35E+01	5,79E+01
R06	1,46E+01	2,40E+01	3,86E+01
R07	1,99E+01	2,61E+01	4,59E+01
R08	1,68E+01	2,24E+01	3,92E+01
R09	1,38E+01	3,06E+01	4,45E+01
R10	1,68E+01	4,13E+01	5,81E+01
R11	1,78E+01	2,74E+01	4,52E+01
R12	2,00E+01	2,36E+01	4,36E+01
E01	1,27E+01	1,87E+01	3,14E+01
E02	1,24E+01	1,69E+01	2,92E+01
E03	1,45E+01	1,46E+01	2,91E+01
E04	1,28E+01	2,01E+01	3,29E+01
E05	5,07E+00	2,30E+01	2,81E+01
E06	2,07E+01	2,68E+01	4,74E+01
E07	1,35E+01	2,84E+01	4,19E+01
E08	1,26E+01	2,56E+01	3,82E+01
E09	1,69E+01	1,72E+01	3,42E+01
E10	1,23E+01	2,08E+01	3,31E+01
E11	1,23E+01	2,42E+01	3,65E+01
K01	1,83E+01	2,27E+01	4,11E+01
K02	1,87E+01	1,49E+01	3,36E+01
K03	1,67E+01	2,45E+01	4,12E+01
K04	1,41E+01	1,78E+01	3,19E+01
K05	1,81E+01	2,95E+01	4,76E+01
K06	1,69E+01	2,03E+01	3,72E+01
K07	1,74E+01	2,95E+01	4,70E+01
K08	2,62E+01	3,48E+01	6,10E+01
K09	1,93E+01	2,25E+01	4,18E+01
K10	2,17E+01	3,52E+01	5,69E+01
K11	2,00E+01	1,20E+01	3,20E+01
K12	2,46E+01	1,74E+01	4,21E+01
K13	1,74E+01	1,57E+01	3,32E+01
K14	1,83E+01	2,27E+01	4,11E+01
K15	1,92E+01	1,58E+01	3,50E+01
K16	1,68E+01	2,01E+01	3,69E+01
K17	2,80E+01	2,45E+01	5,25E+01
K18	3,27E+01	2,60E+01	5,87E+01
K19	2,31E+01	2,01E+01	4,32E+01
K20	2,02E+01	2,43E+01	4,45E+01
K21	2,34E+01	1,47E+01	3,80E+01
K22	1,88E+01	1,72E+01	3,60E+01
A05	2,53E+01	2,59E+01	5,12E+01
A06	2,53E+01	3,05E+01	5,57E+01
A07	1,88E+01	2,74E+01	4,62E+01
A08	1,95E+01	2,04E+01	3,99E+01
Nedre kvartil	1,41E+01	2,01E+01	3,65E+01
Median	1,76E+01	2,45E+01	4,19E+01
Øvre kvartil	2,00E+01	2,94E+01	4,73E+01

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).



TABEL 28. Resultater for cases for Sek

	kWh/m <sup>2</sup> /år		
	Drift B6	Materialer A1-3, B4, C3-4	Alle faser A1-3, B4, B6, C3-4
Enf01	4,12E-01	5,04E-01	9,17E-01
Enf02	2,68E-01	4,96E-01	7,64E-01
Enf03	8,58E-02	1,21E-01	2,07E-01
Enf04	8,13E-01	4,30E-01	1,24E+00
Enf05	2,44E-01	2,27E-01	4,71E-01
Enf06	2,44E-01	4,56E-01	7,00E-01
Enf07	6,66E-01	6,74E-01	1,34E+00
Enf08	3,63E-01	6,39E-01	1,00E+00
Enf09	2,04E-01	3,60E-01	5,64E-01
Enf10	2,55E-01	6,47E-01	9,02E-01
Enf11	-	6,66E-01	-
R01	2,61E-01	4,88E-01	7,49E-01
R02	2,44E-01	3,06E-01	5,50E-01
R03	2,83E-01	4,78E-01	7,61E-01
R04	-1,28E-01	1,05E+00	9,24E-01
R05	-9,14E-02	8,38E-01	7,46E-01
R06	2,55E-01	3,57E-01	6,12E-01
R07	4,05E-01	1,51E-01	5,56E-01
R08	2,53E-01	9,54E-01	1,21E+00
R09	6,31E-02	3,72E-01	4,35E-01
R10	2,53E-01	3,67E-01	6,20E-01
R11	2,57E-01	5,70E-01	8,27E-01
R12	-2,29E-01	5,55E-01	3,26E-01
E01	2,09E-01	1,10E+00	1,31E+00
E02	1,84E-01	1,18E+00	1,37E+00
E03	1,73E-01	1,32E+00	1,49E+00
E04	1,21E-01	1,28E+00	1,40E+00
E05	-1,09E-01	1,76E+00	1,65E+00
E06	4,08E-01	8,92E-01	1,30E+00
E07	2,50E-01	4,41E-01	6,91E-01
E08	5,75E-02	1,10E+00	1,16E+00
E09	3,64E-01	8,95E-01	1,26E+00
E10	1,25E-01	1,48E+00	1,61E+00
E11	1,25E-01	1,69E+00	1,81E+00
K01	4,35E-01	7,21E-01	1,16E+00
K02	5,88E-01	1,40E+00	1,99E+00
K03	5,22E-01	1,12E+00	1,64E+00
K04	3,91E-01	9,90E-01	1,38E+00
K05	5,35E-01	8,94E-01	1,43E+00
K06	5,98E-01	6,81E-01	1,28E+00
K07	4,69E-01	1,42E+00	1,89E+00
K08	8,92E-01	4,99E-01	1,39E+00
K09	6,72E-01	1,02E+00	1,69E+00
K10	7,59E-01	1,09E+00	1,85E+00
K11	8,96E-01	1,02E+00	1,91E+00
K12	7,78E-01	7,40E-01	1,52E+00
K13	5,70E-01	6,68E-01	1,24E+00
K14	6,36E-01	9,09E-01	1,54E+00
K15	5,40E-01	1,04E+00	1,58E+00
K16	5,79E-01	8,74E-01	1,45E+00
K17	1,03E+00	8,56E-01	1,89E+00
K18	1,76E+00	1,77E+00	3,53E+00
K19	8,28E-01	1,34E+00	2,17E+00
K20	6,95E-01	1,41E+00	2,10E+00
K21	8,10E-01	1,20E+00	2,01E+00
K22	6,51E-01	8,00E-01	1,45E+00
A05	7,37E-01	3,57E-01	1,09E+00
A06	7,37E-01	2,69E-01	1,01E+00
A07	5,26E-01	9,24E-01	1,45E+00
A08	5,73E-01	1,10E+00	1,67E+00
Nedre kvartil	2,44E-01	4,90E-01	7,64E-01
Median	4,05E-01	8,47E-01	1,30E+00
Øvre kvartil	6,51E-01	1,10E+00	1,61E+00

Vær opmærksom på at medianværdien er udregnet baseret på forskellige dele af resultatet. Derfor vil kolonnen Alle faser ikke være den præcise sum af medianerne for de indgående faser. Resultater er korrigeret for manglende tekniske installationer (se afsnit 3.2).



I rapporten *Klimapåvirkning fra 60 bygninger – muligheder for udformning af referenceværdier til LCA for bygninger* vurderes det hidtil største antal bygningscases indsamlet i Danmark i forhold til klimapåvirkning. Som et led i målsætningen om at reducere den globale drivhusgasudledning har der i byggeriet i de senere år været stort fokus på at reducere klimaafttrykket fra bygninger. Her indgår livscyklusvurdering (LCA) som et centralt værktøj til at dokumentere bygningers klimaafttryk som følge af fremstilling og bortskaffelse af byggematerialer samt energiforbrug i driftsfasen. I denne rapport er der indsamlet og udarbejdet LCA'er for 60 danske bygningscases inden for bygningstyperne enfamiliehuse, rækkehuse, etageboliger, kontorer samt andet byggeri. På baggrund af disse 60 bygningscases etableres viden omkring bygningers klimapåvirkning. Derudover udvikles referenceværdier for bygningers klimaafttryk, der kan bruges som pejlemærker for fremtidige byggerier. Rapporten viser et klart potentiale for at flytte byggeriet mod et lavere klimaafttryk og imødekomme en bæredygtig udvikling i samfundet.

1. udgave, 2020

ISBN 978-87-93585-21-8